

Mikrobielle Besiedlung verschiedener Handzahnbürsten während Multibracketbehandlung

JOHANNA EICHENAUER

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines **Doktors der Zahnmedizin**
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2012

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2012

© 2012 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

**MIKROBIELLE BESIEDLUNG VERSCHIEDENER
HANDZAHNBÜRSTEN WÄHREND
MULTIBRACKETBEHANDLUNG**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Johanna Eichenauer

aus Friedberg (Hessen)

Gießen 2012

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Kieferorthopädie
des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen
Direktorin: Prof. Dr. Sabine Ruf

Gutachter: Prof. Dr. Sabine Ruf

Gutachter: Prof. Dr. Eugen Domann

Tag der Disputation: 20. November 2012

„Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“

Johann Wolfgang von Goethe



Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Ziel	13
3	Material und Methode.....	14
3.1	Studienteilnehmer.....	14
3.1.1	Einschlusskriterien.....	14
3.1.2	Ausschlusskriterien.....	15
3.1.3	Abbruchkriterien.....	15
3.2	Studiendesign	15
3.3	Merkmale der Handzahnbürsten	18
3.3.1	Elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf Zahnbürste	18
3.3.2	Meridol® Zahnbürste	19
3.4	Merkmale der Zahnpasta.....	21
3.5	Anwendung der Zahnbürsten	21
3.6	Fragebogen	21
3.7	Isolation der Mikroorganismen.....	22
3.8	Bestimmung der koloniebildenden Einheiten.....	24
3.9	Mikrobiologische Untersuchungen.....	24
3.9.1	Sputasol.....	25
3.9.2	CRT® bacteria.....	25
3.9.3	Sabouraud Agar-Test	26
3.9.4	Auxacolor™2-Test-System.....	27
3.9.5	Blutagar	27
3.10	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	27
3.10.1	Unbenutzte Bürstenköpfe	27
3.10.2	Benutzte Bürstenköpfe	28
3.11	Statistik.....	29
3.11.1	Stichprobenumfang.....	29
3.11.2	Datenanalyse.....	29

4	Ergebnisse	31
4.1	Teilnehmer	31
4.1.1	Anzahl und Geschlecht.....	31
4.1.2	Drop-outs	31
4.1.3	Nutzung einer anderen Zahnbürste	32
4.1.4	Erkrankung während der Putzphase	32
4.2	Mikrobielle Besiedlung der Zahnbürsten	33
4.2.1	<i>Streptokokkus mutans</i>	33
4.2.2	Laktobazillen	36
4.2.3	<i>Candida</i>	36
4.2.4	Blutagar	36
4.3	Fragebogen	37
4.3.1	Schmerzen.....	37
4.3.2	Blutung.....	37
4.3.3	Reinigung.....	38
4.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	39
5	Diskussion	45
5.1	Material und Methode	45
5.1.1	Studienteilnehmer	45
5.1.2	Einschlusskriterien.....	46
5.1.3	Ausschlusskriterien	46
5.1.4	Studiendesign	47
5.1.5	Verwendete Mundhygieneprodukte	47
5.1.6	Anwendung der Zahnbürsten	48
5.1.7	Fragebogen	49
5.1.8	Isolation der Mikroorganismen.....	50
5.1.9	Bestimmung der koloniebildenden Einheiten (KBE)	52
5.2	Ergebnisse.....	53
5.2.1	Besiedlung der Bürstenköpfe mit <i>S. mutans</i>	53
5.2.2	Besiedlung der Bürstenköpfe mit Laktobazillen	60
5.2.3	Besiedlung der Bürstenköpfe mit <i>Candida</i>	61
5.2.4	Subjektive Empfindungen	62
5.2.5	REM Untersuchungen	64
5.2.6	Schlussfolgerung	68

6	Zusammenfassung	71
7	Summary	73
8	Literaturverzeichnis	74
9	Herstellerverzeichnis	89
10	Anhang	91
11	Publikationen	97
12	Ehrenwörtliche Erklärung.....	100
13	Danksagung	101
14	Lebenslauf.....	102

1 Einleitung

Ein tragender Pfeiler moderner prophylaxeorientierter Zahnheilkunde ist eine regelmäßige und effektive Mundhygiene. Um diese zu erzielen, werden Patienten von der Industrie eine Reihe unterschiedlicher Hilfsmittel angeboten. Während Zahnseide oder Zahnhölzer, wenn überhaupt, nur unterstützend angewendet werden, stellt die Zahnbürste das am häufigsten verwendete Instrument zur Plaqueentfernung und somit zur Karies- und Parodontitisprophylaxe dar (Golding 1982(a) und (b), Koch et al. 2007).

Wenngleich Karies eine multifaktorielle Erkrankung der Zahnhartsubstanzen ist, entsteht eine kariöse Läsion unmittelbar durch die Produktion organischer Säuren von in der Plaque vorhandenen Mikroorganismen (van Houte 1994, Hellwig et al. 2003). Die Demineralisation schreitet initial vom Zahnschmelz in das Dentin fort, welches schließlich als lebendes Gewebe mikrobiell infiziert wird. In der menschlichen Mundhöhle werden weit über 700 Arten von Mikroorganismen vorgefunden (Aas et al. 2005), die aus Speichel, Plaque oder von Schleimhautoberflächen isoliert werden können. In der Vielfalt der Spezies finden sich Keime der Standortflora ebenso wie transiente oder opportunistische Keime. Als Leitkeime der Kariesentstehung gelten seit etwa 50 Jahren Streptokokken der Mutans-Gruppe. Fitzgerald und Keyes beispielsweise konnten 1960 an Hamstern Karies induzieren, indem sie intraoral einzelne Streptokokkenstämme inokulierten, welche zuvor aus kariösen Läsionen anderer Hamster gewonnen wurden. Die Vermutung, dass Karies durch Übertragung von Bakterien, welche in Mundhöhle und Intestinaltrakt angesiedelt sind, entsteht und demnach als Infektionskrankheit angesehen werden kann, wurde damit untermauert. Die Rolle von *Streptokokkus mutans* (*S. mutans*) bei der Kariesentstehung wurde seitdem in zahlreichen Publikationen erörtert (Fitzgerald und Keyes 1960, Hamada und Slade 1980, Arneberg et al. 1984). Dabei sind die azidogenen und gleichzeitig säuretoleranten Charakteristika des knapp 1µm messenden, kugelförmigen Bakteriums, das in Ketten angeordnet ist (Madigan et al. 2008), von besonderer Bedeutung. Saccharose dient als Substrat für die Produktion extrazellulärer Polysaccharide durch Glykosyltransferasen, wodurch die Anhaftung des Keimes an Zahnoberflächen innerhalb des zähen und adhären Biofilms ähnlich gewährleistet wird wie durch die Interaktion bakterieller Adhäsine mit Rezeptoren des „acquired pellicles“ (Gibbons 1984). Die durch anaerobe Glykolyse gebildeten Säuren wirken dadurch, abhängig von der Expositionsdauer, auf die unmittelbar darunter liegende Zahnoberfläche demineralisierend, was die Entstehung einer initialen Karies (White Spot Lesion) zur Folge hat (Hellwig et al. 2003). Aus einer Infektion mit *S.*

mutans, die bei etwa 70-90% der europäischen Bevölkerung besteht (Emilson und Thorselius 1988), resultiert nicht unbedingt die Entstehung von Karies. Allerdings ist das Vorliegen einer aktiven Läsion nahezu immer mit hohen Zahlen von *S. mutans* verbunden (Arneberg et al. 1984, Aas et al. 2008). Überdies fördert eine kariogene, d. h. saccharosereiche, Ernährung zwar nicht automatisch die Entwicklung von Plaque, lässt jedoch die Keimzahlen im Speichel merklich ansteigen (Hamada und Slade 1980). Die Etablierung dieser Bakterien findet meistens durch interindividuelle Transmission (korrelierende Keimzahlen bei Mutter und Kind) bereits im frühen Kindesalter statt (Caufield et al. 1993). Dabei besteht eine erhöhte Kariesprävalenz je eher der Keim in der Mundhöhle nachgewiesen werden kann (Köhler et al. 1988, Alaluusua und Renkonen 1983).

Auch Laktobazillen sind mit der Entwicklung kariöser Defekte assoziiert. Die verschiedenen stäbchenförmigen, grampositiven Milchsäurebakterien werden zur Herstellung von Milchprodukten verwendet und sind Teil der physiologischen Flora des menschlichen Körpers. Im sauren Milieu zeigen sie eine hohe metabolische Aktivität (Laktose bzw. Glukose werden im Rahmen der Glykolyse zu Laktat umgesetzt), was das gesteigerte Vorkommen dieser Keime bei fortgeschrittener Karies unter Dentinbeteiligung mit einem anaerob-sauren Mikroklima erklärt. Dabei sind die im erweichten Dentin nachweisbaren Spezies intraindividuell sehr divergent, allerdings scheinen Spezies der *L. casei*-Gruppe vorherrschend zu sein (Kneist et al. 2010, Byun et al. 2004, Badet und Thebaud 2008). Bereits während der ersten fünf Lebensjahre zeigt sich bei etwa der Hälfte der Kinder eine Etablierung von Laktobazillen (Carlsson et al. 1975). Dabei korreliert eine kohlenhydratreiche Ernährung sowie die Anzahl retentiver Areale in der Mundhöhle (z. B. tiefe Fissuren, insuffiziente Füllungsråder, Brackets) mit der Keimzahl (Badet und Thebaud 2008). Ähnlich wie bei *S. mutans* kann eine große orale Keimlast auf eine erhöhte Kariesaktivität schließen lassen, was im Rahmen von Kariesrisikotests praktische Anwendung findet.

In der Mundhöhle lassen sich neben Bakterien oftmals auch Hefepilze der *Candida*-Gruppe nachweisen. *Candida albicans* (*C. albicans*) ist mit knapp 40% Prävalenz am häufigsten anzutreffen und kann als polymorpher, fakultativ pathogener Keim in der Mundhöhle mit Candidiasis und Karies in Zusammenhang stehen (Krasse 1954, Arendorf und Walker 1980, Wetzel et al. 1997, Klink et al. 2011). Insbesondere bei immungeschwächten Patienten, in Folge antibiotischer Medikation oder bei Kindern wird eine Infektion mit *C. albicans* nicht selten diagnostiziert. Wetzel et al. (1993) konnten zeigen, dass bereits bei Kleinkindern mit kariösen Gebissen infolge eines langen Gebrauchs von Nuckelflaschen (Nursing-Bottle-Syndrom) *C. albicans* in Speichel und

kariöser Zahnhartsubstanz etabliert ist. In der gleichen Arbeitsgruppe wiesen auch Hossain et al. (2003) bei 56 Vorschulkindern mit kariösen Milchzähnen nach, dass eine ausgeprägte Korrelation zwischen *C. albicans*-Stämmen aus erweichtem Dentin, Plaque, Speichel und Stuhlproben besteht. Somit können kariöse Zähne als Quelle wiederkehrender *Candida*-Infektionen des Mundes und Intestinaltraktes angesehen werden. Bei der Dentinkaries ist eine Beteiligung von *C. albicans* möglich, da durch die oberflächliche Invasion der Pilzzellen in die Dentintubuli eine Degradation von Kollagenfasern in Abhängigkeit von der Dauer der Enzymexposition auftritt (Hagihara et al. 1988). Überdies konnte beispielsweise Wandelt (1969) darstellen, dass *C. albicans* in der Lage ist Schmelzkristalle aufzulösen und deshalb auch an der Entstehung initialer Defekte mitwirken kann.

Die Zahnbürste kommt während des Zähneputzens fortwährend in Kontakt mit verschiedenen Keimen und bereits nach einmaligem, erst recht jedoch nach dem üblichen wochen- bis monatelangen Gebrauch einer Zahnbürste, kommt es zur Retention von Mikroorganismen auf dem Bürstenkopf (Noga et al. 1976, Glass und Jensen 1988, Verran und Leahy-Gilmartin 1996, Bunetel et al. 2000). Erstmals befassten sich Dayoub et al. (1977) und Svanberg (1978) mit dem Nachweis und der Überlebensdauer von Mikroorganismen auf dem Zahnbürstenkopf. Svanberg konnte *S. mutans* sowohl an der Öffnung von Zahnpastatuben als auch auf Zahnbürstenköpfen finden. Das wiederholte Einbringen der kontaminierten Zahnbürste in die Mundhöhle geht nicht konform mit dem Ziel, möglichst viele Mikroorganismen aus dieser zu entfernen. Darüber hinaus ist gar die Möglichkeit einer potentiellen Reinfektion durch Mundhygienemittel, insbesondere bei Verletzungen der Mundschleimhaut und beeinträchtigter Immunitätslage, gegeben (Glass und Lare 1986, Glass und Shapiro 1992). Dabei sind nicht nur Keime relevant, welche hauptsächlich orale Infektionen hervorrufen oder an der Kariesgenese beteiligt sind. Auf Zahnbürsten ließen sich ebenso pathogene und opportunistische Mikroorganismen nachweisen, welche mit Systemerkrankungen assoziiert sind, wobei das Spektrum Herpes-, Influenza- oder auch Hepatitis B-Viren umfasst (Glass und Jensen 1988). Bereits 1920 beschrieb Cobb den Fall eines jungen Mannes, welcher, alleine durch Auswaschen seiner Zahnbürste in Alkohol, von rekurrenten oralen Infektionen kuriert wurde.

Für die Haftung und gegebenenfalls Vermehrung der Keime stellt das Borstenfeld des Bürstenkopfes aufgrund seines Designs und des feuchten Mikroklimas ein prädestiniertes Areal dar. Sofern das Besteckungsfeld der Zahnbürste im putzfreien Intervall Gelegenheit zum Trocknen hat, kann die Menge der retinierten Keime wirkungsvoll reduziert werden (Goldsmith et al. 2007). Allerdings konnte auch nach einer Trock-

nungszeit von 24 Stunden *S. mutans* entdeckt werden (Svanberg 1978), wobei dies gleichzeitig der maximal untersuchten Zeitspanne entsprach. Herpes simplex war von Glass und Jensen (1988) auf trockenen Zahnbürsten mindestens 48 Stunden, auf feucht gelagerten sogar mehr als sieben Tage nachweisbar. Vor allem der Bereich der Borstenverankerung und der basale Borstenanteil werden bevorzugt mikrobiell besiedelt, weil dort herstellungsbedingt feine Spalten und Hohlräume bestehen, die unter anderem eine Retention von Speise- und Zahnpastaresten sowie Mikroorganismen begünstigen (Glass 1992). Speisereste oder Zellen der Mundschleimhaut bilden ihrerseits ein günstiges Reservoir für Mikroorganismen, welche keinesfalls nur aus der Mundhöhle stammen müssen. Eine Kontamination kann auch von extern, wie beispielsweise durch Hautkontakt beim Auswaschen mit den Fingern oder durch Aerosole bzw. Kontakt mit Oberflächen im Badezimmer hervorgerufen werden (Verran und Leahy-Gilmartin 1996). Erwähnenswert erscheint die Tatsache, dass der Gebrauch von Zahnpasta die mikrobielle Verunreinigung der Zahnbürsten in Abhängigkeit der enthaltenen Detergenzien zu reduzieren vermag (Quirynen et al. 2001, Warren et al. 2001). Etwa die Hälfte der anhaftenden Mikroorganismen lässt sich des Weiteren durch ein gründliches Ausspülen des Bürstenkopfes unter fließendem Wasser entfernen (Kozai et al. 1989). Auch eine Benetzung des Bürstenkopfes mit Lösungen, die antibakterielle Wirkstoffe, wie etwa Chlorhexidindigluconat, enthalten, werden als nützlich erachtet und häufig diskutiert (Mehta et al. 2007, Nelson-Filho et al. 2000). Wenngleich die beschriebenen Methoden die Keimbelastung auf Zahnbürstenköpfen zuweilen effektiv senken können, lässt sich mit ihnen nicht unbedingt eine Keimfreiheit erzielen. Bemerkt werden sollte zudem, dass die Retention eines pathogenen Keimes auf dem Bürstenkopf keineswegs mit der Entwicklung einer entsprechenden Erkrankung einhergehen muss (Taji und Rogers 1998).

Unter anderem befassten sich die Untersuchungen von Glass und Jensen (1988) oder Nies et al. (2008) mit dem Aspekt, inwiefern die mikrobielle Kontamination von Handzahnbürsten mit dem Besteckungsverfahren einer Bürste korreliert. Dabei kam man zu dem Ergebnis, dass das Prinzip der üblichen „multi-tufted“ Besteckung, bei dem die einzelnen Borsten gebündelt werden, die Anhaftung und das Überleben von Mikroorganismen begünstigt, da die Trocknung des Bürstenkopfes durch die dicht stehenden Filamente erschwert wird. Mit steigender Anzahl der Filamente pro Büschel wird dieser Effekt noch verstärkt. Der Verdacht, dass unterschiedliche Bündel-Besteckungssysteme, die jeweils charakteristische Morphologien und Hohlraumbildungen an den Verankerungsstellen der Borsten hervorrufen, hierauf einen Einfluss haben könnte, ließ sich nicht verifizieren. Hingegen konnten bei einem Zahnbürsten-Prototyp mit einzeln

stehenden Filamenten im Vergleich zu konventionellen Zahnbürsten signifikant geringere Keimzahlen nachgewiesen werden (Wetzel et al. 2005). Die gegenwärtig gebräuchlichste Besteckungsmethode stellt die Bündelstanzbesteckung dar, bei welcher die gebündelten Filamente um ein Metallplättchen gebogen mit diesem in ein Bohrloch eingekeilt werden (Nies et al. 2008).

Heutzutage besteht bei etwa 40% aller Jugendlichen kieferorthopädischer Behandlungsbedarf gemäß den Richtlinien der gesetzlichen Krankenkassen (Glasl et al. 2006). Die Gesamtzahl der tatsächlich durchgeführten kieferorthopädischen Behandlungen ist in den letzten Jahrzehnten gestiegen, was wahrscheinlich durch ein gesteigertes Gesundheitsbewusstsein ebenso bedingt ist wie durch den Wunsch nach einem ästhetischen und funktionell optimalen Gebiss. Während der Behandlung von Jugendlichen mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Multibracketapparatur (Abbildung 1.1) treten jedoch besondere Aspekte in den Vordergrund. So verändert sich durch die Insertion der Apparatur die supra- und subgingivale Mikrobiota, woraus ein stark erhöhtes Gingivitis-, Parodontitis- und Kariesrisiko resultiert (Arslan et al. 2008, Hägg et al. 2004, Petti et al. 1997). Um diesen Erkrankungen präventiv zu begegnen, ist während der Behandlung mit einer „festen Zahnsperre“ auf eine äußerst gründliche Mundhygiene zu achten.

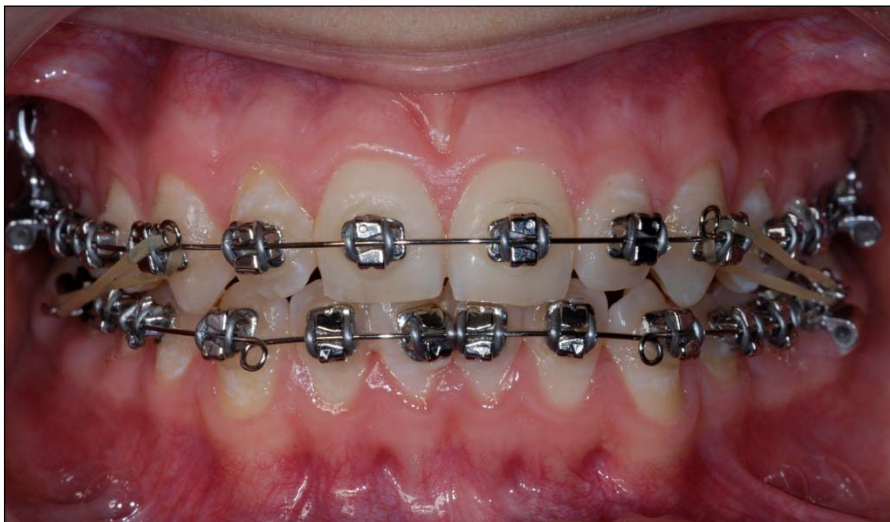


Abbildung 1.1: Eingegliederte Multibracketapparatur

Die eingegliederte Apparatur fördert die Plaqueretention. Ein erheblicher Teil der Zahnoberfläche wird bedeckt, was die Haftung von Speiseresten begünstigt und die natürliche Selbstreinigung der Mundhöhle durch Speichelfluss und Zungenbewegung einschränkt. Besonders die Nischen um und zwischen den Brackets sowie Areale unter dem Bogen stellen diesbezüglich Prädispositionsstellen dar (Faltermeier et al. 2008). Nur

mit besonderer Aufmerksamkeit und unter zusätzlicher Verwendung einer Interdentalbürste können diese Stellen adäquat gereinigt werden (Arici et al. 2007). Um eine optimale Mundgesundheit während der aktiven Behandlungsphase zu etablieren, wird von den heranwachsenden Patienten ein erhebliches Maß an Motivation und Eigenverantwortung erwartet. Daher erhalten Patienten in der Regel im Anschluss an das Eingliedern einer festsitzenden Apparatur Instruktionen zu effizienten Mundhygienetechniken und -produkten.

Ein Angebot von hygienisch empfehlenswerten Mundpflegeartikeln sowie die Beratung von Seiten des Zahnarztes sind die Basis einer langfristig erfolgreichen Mundhygiene und Zahngesundheit. Allerdings herrscht über das geeignete Design einer Handzahnbürste, die während der Multibracketbehandlung verwendet werden sollte, noch keine einheitliche Ansicht (Boyd und Rose 1994, Wilcoxon et al. 1991, Thienpont et al. 2001). Vermutete Vorteile elektrischer Zahnbürsten auf Plaquemenge und gingivale Entzündungen konnten mehrfach nicht bestätigt werden (Clerehugh et al. 1998, Hickman et al. 2002, Thienpont et al. 2001).

Bereits auf dem Markt existent sind seit jüngerer Zeit Zahnbürsten mit konischen Borstenenden, welche aufgrund der weichen und flexiblen Borsten vorrangig für Patienten mit Parodontopathien und nach oralchirurgischen Eingriffen empfohlen werden. Barnes et al. konnten 2009 in vitro die überlegene proximale, gingivale und subgingivale Reinigungseffektivität einer Handzahnbürste mit konischen Filamenten bestätigen. Sieben Jahre zuvor machten die Arbeitsgruppen um Dörfer et al. (2003) und Yankell et al. (2003) bereits ähnliche Feststellungen, als sie solch eine Zahnbürste mit einer Referenzbürste mit klassisch zylindrischen Filamenten verglichen. Während Yankell et al. am Modell signifikante Unterschiede zugunsten des konischen Borstendesigns feststellten, kamen Dörfer et al. nach Anwendung der mikrofein-konischen Bürste in vivo zu einem analogen, jedoch weniger deutlichen Ergebnis. Es liegt daher nahe zu vermuten, dass die mikrofeinen Filamente bei Patienten mit Multibracketapparatur ebenfalls eine bessere Reinigungsleistung erzielen, da schwer zugängliche Bereiche, z. B. zwischen Bracket und Gingivalrand oder unterhalb des Bogens, durch das besondere Borstendesign besser erreicht werden könnten. Gleichwohl besteht der Verdacht, dass die bakterielle Kontamination bei Bürsten mit konischen Borsten erhöht ist, da die enge räumliche Anordnung der zahlreichen Filamente die Trocknung des Bürstenkopfes erschwert und gegebenenfalls noch zusätzlich durch Kapillarkräfte die Retention von Feuchtigkeit oder Putzrückständen begünstigt.

2 Ziel

Das Ziel dieser randomisierten Untersuchung bestand darin, das Ausmaß der Retention der kariesassoziierten Mikroorganismen *S. mutans*, *C. albicans* sowie Laktobazillen auf zwei Handzahnbürsten mit unterschiedlichem Borstendesigns (mikrofein konisch und konventionell zylindrisch) gegenüberzustellen. Dies sollte vergleichend sowohl bei Patienten mit als auch ohne eingegliedeter Multibracketapparatur festgestellt werden, um daraufhin eine Empfehlung bezüglich eines hygienisch geeigneten Zahnbürstendesigns zur Verwendung während der kieferorthopädischen Behandlung geben zu können.

Als Nullhypothese wurde angenommen, dass keine mikrobiologischen Unterschiede zwischen den beiden Handzahnbürsten bestehen.

3 Material und Methode

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Retention der kariesspezifischen Mikroorganismen *Streptokokkus mutans*, *Candida albicans* und Laktobazillen auf zwei verschiedenen Handzahnbürsten nach zweiwöchigem Gebrauch durch Probanden mit und ohne Multibracketapparatur ermittelt.

Die Genehmigung zur Durchführung der klinischen Prüfung wurde im Vorfeld durch die Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen erteilt (Nr. 140/08). Die Planung der klinischen Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die randomisierte Studie entspricht einem zweifaktoriellen Aufbau und wurde als explorative, ein-fachblinde Untersuchung konzipiert.

3.1 Studienteilnehmer

Die Anzahl der benötigten Studienteilnehmer, die notwendig war, um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, wurde durch das Institut für Medizinische Informatik ermittelt (siehe Kapitel 3.11). An der Studie nahmen insgesamt 100 Personen teil. Diese setzten sich aus 50 Studierenden der Zahnheilkunde in vorklinischen Semestern ohne Multibracketapparatur, sowie 50 Patienten mit Multibracketapparatur der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen zusammen. 69 Teilnehmer waren weiblichen und 31 männlichen Geschlechts. Sämtliche Probanden wurden über das Vorhaben der Untersuchung in mündlicher und schriftlicher Form aufgeklärt und willigten mit ihrer Unterschrift in die freiwillige Teilnahme an der Studie ein. Bei minderjährigen Patienten wurde zusätzlich die Unterschrift eines Erziehungsberechtigten eingeholt.

3.1.1 Einschlusskriterien

Es wurden folgende Einschlusskriterien definiert:

- Abgeschlossener Zahnwechsel (Dentalstadium DS4 M2)
- Naturgesundes oder konservierend versorgtes Gebiss
- Multibracketbehandlung im Ober- und Unterkiefer (mindestens 20 Zähne mit Brackets oder Bändern) – Gruppe „MB“ oder
- Keine Multibracketapparatur – Gruppe „nMB“

3.1.2 Ausschlusskriterien

Die Ausschlusskriterien wurden wie folgt definiert:

- Allgemeinerkrankungen (z.B. Asthma bronchiale, Autoimmunerkrankungen, Infektionserkrankungen, Herzerkrankungen, Diabetes, Nierenerkrankungen, rheumatische Erkrankungen)
- Körperliche oder geistige Behinderung
- Dauermedikation bzw. Einnahme eines Antibiotikums während der Versuchsdauer
- Kariöse Läsionen oder parodontale Erkrankungen

3.1.3 Abbruchkriterien

Probanden, bei denen während der Versuchsdauer eine der nachfolgenden Gegebenheiten auftrat, wurden nicht in die Auswertung der Ergebnisse einbezogen:

- Nichteinhaltung der vereinbarten Mundhygienerichtlinien
- Medikamenteneinnahme mit antibiotischen Wirkstoffen

3.2 Studiendesign

Entsprechend der Reihenfolge ihres Erscheinens in der Poliklinik für Kieferorthopädie wurden die Patienten bezüglich ihrer Eignung zur möglichen Teilnahme an der Studie gescreent. Analog dazu wurden die studentischen Probanden rekrutiert, indem die Studie in studentischen Kursen vorgestellt wurde und sich daraufhin freiwillige Teilnehmer meldeten. Nach einem mündlichen Aufklärungsgespräch mit Informationen hinsichtlich der Studienteilnahme und des -ablaufs willigten die Probanden mit Ihrer Unterschrift auf einer zuvor ausgehändigten datierten Einverständniserklärung ein (siehe Anhang). Bei minderjährigen Teilnehmern war überdies die Zustimmung eines Erziehungsberechtigten erforderlich. Gemäß einer durch das Institut für Medizinische Informatik erstellten Randomisierungsliste, getrennt für Teilnehmer mit und ohne Multi-bracketapparatur, wurden die Probanden einer von vier Gruppen zugeordnet (Tabelle 3.1). Dabei erfolgte die Pseudonymisierung der Probanden durch konsequente Vergabe einer Identifikationsnummer der Randomisierungsliste. Auf zwei Erfassungsbögen wurden fortan gesammelte Daten, wie beispielsweise Beginn und Ende der Versuchsphase, für jeden Teilnehmer unter der entsprechenden Nummer vermerkt. Gleichzeitig mit der randomisiert zugewiesenen Zahnbürste, erhielten die Teilnehmer eine standardisierte Zahnpasta sowie einen Ziploc®-Kunststoffbeutel zur Rückgabe der gebrauch-

ten Zahnbürste nach Ablauf der Versuchsdauer. Damit sollte ein analoges Mikroklima bzw. eine hygienische Atmosphäre für den Transport sichergestellt werden. Außerdem wurden den Teilnehmern ein Fragebogen sowie, parallel zu den mündlichen Instruktionen, ein Informationsblatt mit schriftlichen exakten Hinweisen zum Gebrauchsmodus der Zahnbürste und Mundpflegemittel übergeben (siehe Anhang), um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen.

Am Ende der 14-tägigen Putzphase wurden die Zahnbürste und der ausgefüllte Fragebogen (siehe Anhang) eingesammelt. Im Anschluss daran fand die Keimisolation der Bürsten statt (Abbildung 3.1). Die einfachblinde Konzipierung der Studie erlaubte keine Zuordnung der Zahnbürsten durch den Untersucher. Dieser nahm die pseudonymisierte mikrobiologische Untersuchung sowie später separat die Auswertung der Fragebögen und Datenanalyse vor.

Tabelle 3.1: Schematische Darstellung der Gruppeneinteilung

	elmex® Zahnbürste	meridol® Zahnbürste
Probanden <i>mit</i> Multibracketapparatur	Gruppe MBe (n=25)	Gruppe MBm (n=25)
Probanden <i>ohne</i> Multibracketapparatur	Gruppe nMBe (n=25)	Gruppe nMBm (n=25)

Studiendesign

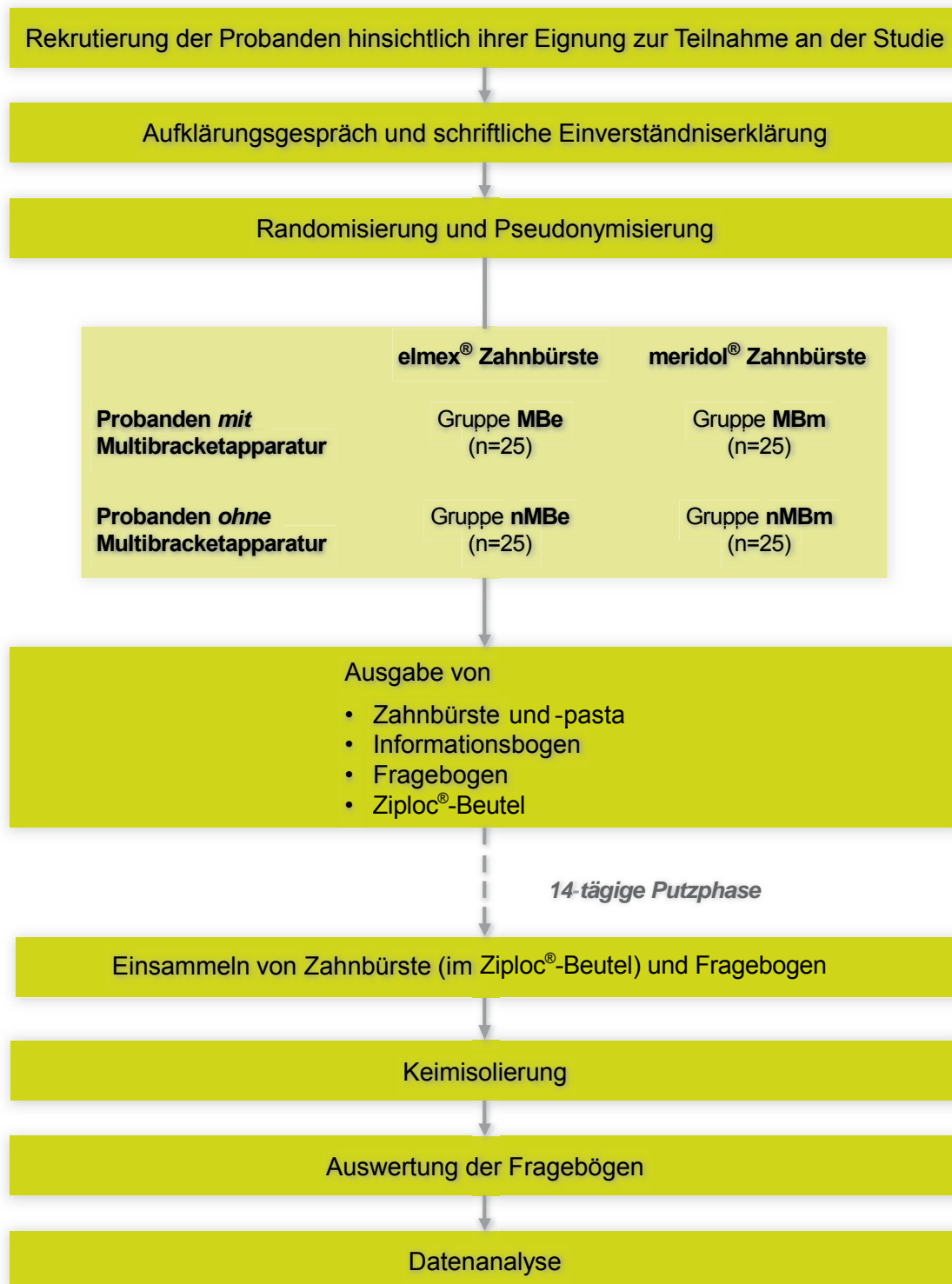


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Studiendesigns

3.3 Merkmale der Handzahnbürsten

Im Rahmen der Untersuchung wurden 100 Handzahnbürsten zum Gebrauch ausgegeben. Es handelte sich um die Produkte elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf-Zahnbürste sowie die meridol® Zahnbürste des Herstellers GABA Deutschland (GABA GmbH, Lörrach). Die Borsten waren gemäß dem „multi-tufted“-Prinzip in Form von Bündeln angeordnet. Die Borstenverankerung entsprach bei beiden Bürsten der Bündelstanzbesteckung. Die Ausgabe der Zahnbürsten an die Probanden erfolgte im fabriktneuen und originalverpackten Zustand.

3.3.1 Elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf Zahnbürste

Die elmex® Zahnbürste weist 27 Borstenbüschel aus Nylon auf, die im Hoch-Tief-Schnitt angeordnet sind. Zentral ist eine Reihe orangefarbener X-gestellter Filament-Bündel inseriert, welche einen Durchmesser von 0,175mm aufweisen. Die übrigen Filamente verfügen über eine Stärke von 0,20mm. Sämtliche Borsten sind endgerundet und von mittlerem Härtegrad (GABA GmbH, Lörrach). Der Bürstenkopf ist in Abbildung 3.2 bis Abbildung 3.4 fotografisch dargestellt.



Abbildung 3.2: Seitenansicht Bürstenkopf elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf-Zahnbürste

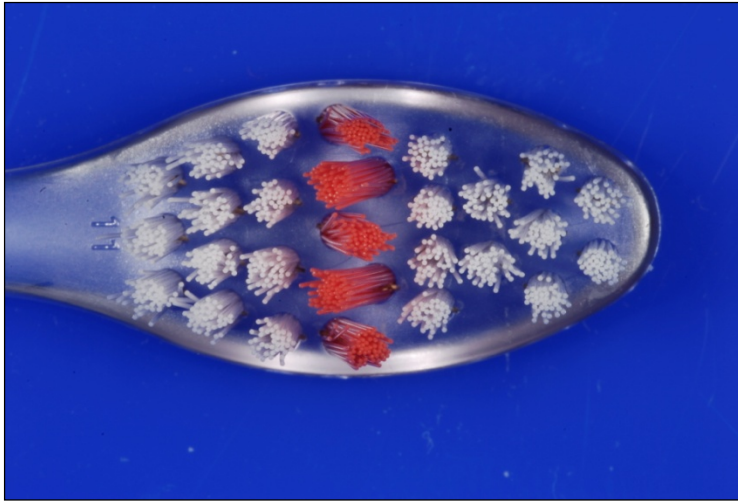


Abbildung 3.3: Aufsicht Bürstenkopf elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf-Zahnbürste

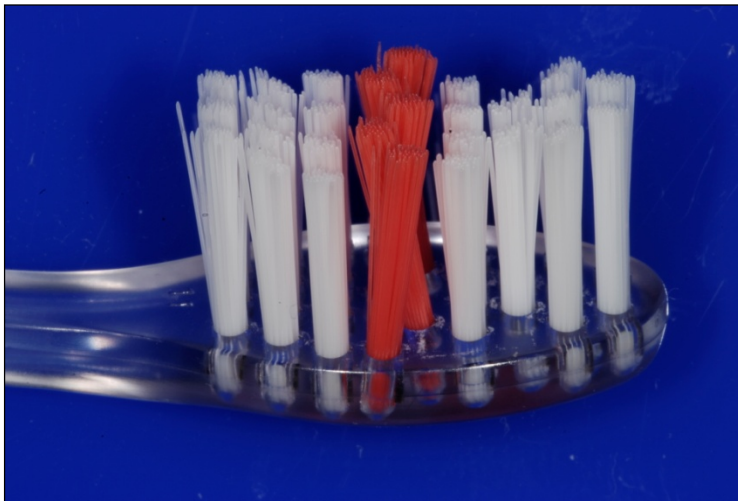


Abbildung 3.4: Schrägansicht Bürstenkopf elmex® Kariesschutz interX Mittel Kurzkopf-Zahnbürste

3.3.2 Meridol® Zahnbürste

Die meridol® Zahnbürste besitzt ein planes Borstenfeld mit etwa 1700 Filamenten aus Polyester, angeordnet in 37 Filamentbündeln. Die einzelnen Filamente sind insgesamt konisch zulaufend, mit einem Durchmesser von 0,18mm an der Basis und 0,05mm an der Spitze. Der Härtegrad der Zahnbürste wird vom Hersteller als weich angegeben (GABA GmbH, Lörrach). Eine vergrößerte Ansicht des Bürstenkopfes ist in Abbildung 3.5 bis Abbildung 3.7 gezeigt.

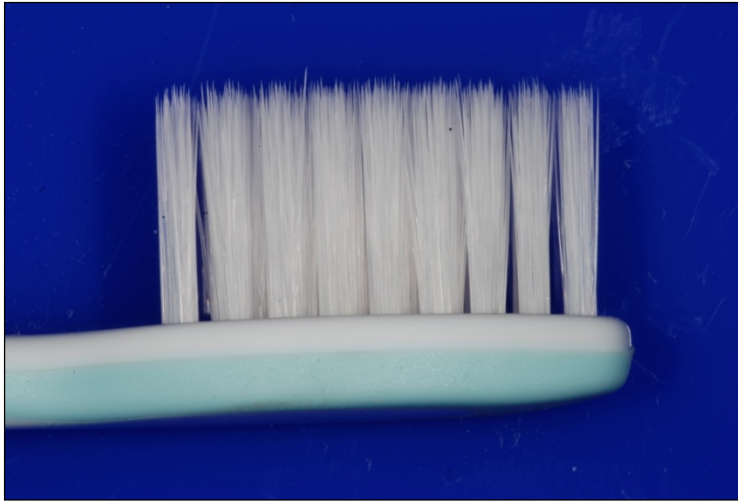


Abbildung 3.5: Seitenansicht Bürstenkopf meridol® Zahnbürste

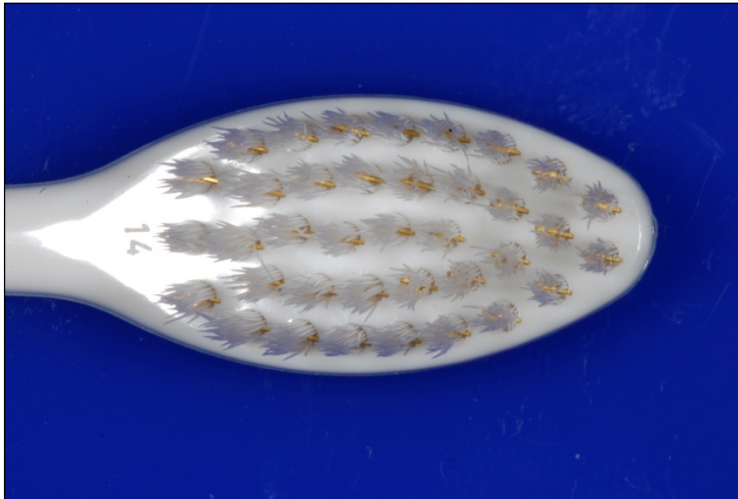


Abbildung 3.6: Aufsicht Bürstenkopf meridol® Zahnbürste

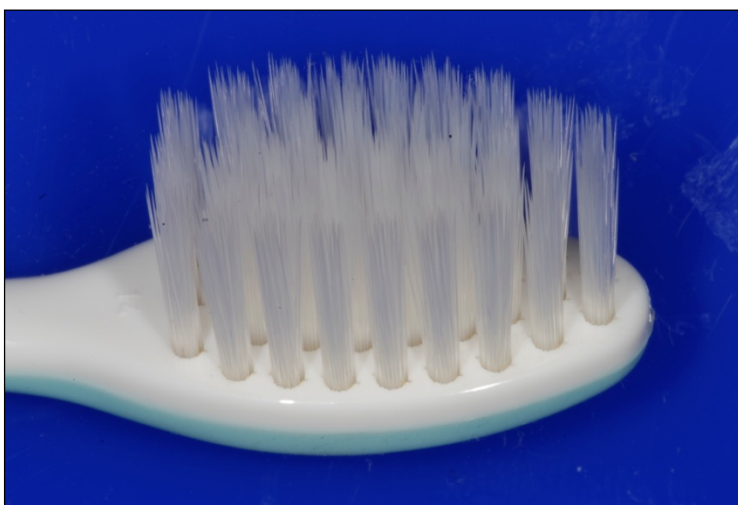


Abbildung 3.7: Schrägansicht Bürstenkopf meridol® Zahnbürste

3.4 Merkmale der Zahnpasta

Um den Einfluss der Zahnpasta auf die mikrobielle Besiedlung der Bürstenköpfe konstant zu halten, wurde allen Studienteilnehmern die gleiche Zahnpasta (elmex® Zahnpasta mit Aminfluorid; GABA GmbH, Lörrach) zur ausschließlichen Verwendung während der Putzphase ausgehändigt. Der Fluoridgehalt dieser Paste beträgt 1400ppm, der pH-Wert 4,6. Die Putzkörper bestehen aus Kieselgel. Mit einem RDA-Wert von 77 ist die Paste den mittelstark abrasiven Zahnpasten zuzuordnen.

3.5 Anwendung der Zahnbürsten

Anweisungen zur Ausübung einer bestimmten Putztechnik erfolgten nicht explizit. Anzumerken ist jedoch, dass alle Patienten, die in der Poliklinik für Kieferorthopädie mit festsitzenden Apparaturen behandelt werden, unmittelbar nach deren Insertion einheitliche Putztechniken demonstriert bekommen, um eine adäquate Reinigung zwischen den Brackets sowie ober- und unterhalb des Bogens zu erreichen.

Vorgesehen war ein täglich mindestens zweimaliger Gebrauch der Zahnbürste (morgens und abends) für jeweils drei Minuten. Auf die Verwendung einer etwa 1cm langen Portion der Zahnpasta sowie eine möglichst gründliche Reinigung aller Zahnflächen wurde hingewiesen. Die Lagerung zwischen den Putzintervallen sollte aufrecht, mit dem Bürstenkopf nach oben erfolgen, um dessen Trocknung zu ermöglichen. Zum Spülen der Mundhöhle und der Bürste nach dem Putzen sollte Leitungswasser verwendet werden. Ein Gebrauch von Mundspüllösungen innerhalb der aktiven Putzphase war nicht gestattet. Hingegen war der fakultative Einsatz von Zahnseide und/oder Interdentalbürsten erlaubt.

3.6 Fragebogen

Um einen subjektiven Eindruck über die Qualität der Bürsten zu gewinnen und nachträglich die Konformität der Einschlusskriterien zu evaluieren, wurden die Studienteilnehmer gebeten, bei Rückgabe der Bürsten den ausgehändigten Fragebogen ausgefüllt zurückzugeben (siehe Anhang).

Erhoben wurde mittels dichotomer Fragen („ja“ oder „nein“) die Information, ob der Proband während der Putzphase krank war, ob er währenddessen Medikamente eingenommen hatte und ob eine andere Zahnbürste oder -paste als die ausgegebene verwendet wurde. Wenn die Einnahme von Medikamenten angegeben wurde, sollten diese namentlich genannt werden, um rückwirkend einen Ausschluss der Teilnehmer

im Falle der Einnahme antibiotischer oder bakterizider/bakteriostatischer Präparate vornehmen zu können.

Mittels visueller Analogskalen (VAS) wurde das subjektive Empfinden der Probanden hinsichtlich der von der Bürste hervorgerufenen Schmerzen während des Putzens, der Neigung zu Zahnfleischbluten und der empfundenen Reinigungsleistung ermittelt. Im Rahmen der VAS bestand eine kontinuierliche Antwortmöglichkeit. Auf einer 100mm langen Skala mit verbal verankerten Enden markierte der Befragte einen Punkt, der seinem subjektiven Empfinden entsprach.

3.7 Isolation der Mikroorganismen

Das Putzintervall war auf exakt zwei Wochen begrenzt. Nach dem letztmaligen Putzen, das morgens erfolgte, wurden die Bürsten bis zum frühen Nachmittag eingesammelt. Unmittelbar danach erfolgte die Keimextrahierung in Anlehnung an die von Wetzel et al. (2005) sowie Nies et al. (2008) beschriebenen Methode:

- Einlegen der Bürstenköpfe in 10ml Sputasol-Lösung in sterilen Glasbehältern (Abbildung 3.8)
- Verschluss der Glasbehälter mit Parafilm
- 15-minütige Aktivierung im Ultraschallbad bei 25 °C (Abbildung 3.9)
- Zentrifugieren von 1ml der erhaltenen Lösung in Eppendorf-Probengefäß für 10 Minuten bei 13.000 U/min (Raumtemperatur)
- Entfernen von 800µl des klaren Überstands
- Resuspendierung des Pellets in den übrigen 200µl auf dem Vortexer
- Ausstreichen von jeweils 20µl der erhaltenen Suspension auf den beiden spezifischen Agarflächen des CRT-Tests sowie auf Sabouraud- und Blutagar
- Bebrütung im Wärmeschrank bei 36 °C für 72 Stunden
- Ermittlung der Anzahl der sichtbaren koloniebildenden Einheiten (KBE)



Abbildung 3.8: Bürstenkopf in Sputasol-Lösung



Abbildung 3.9: Bürste im Ultraschallbad

3.8 Bestimmung der koloniebildenden Einheiten

Nach 72 Stunden Inkubation im Wärmeschrank wurden die makroskopisch sichtbaren Kolonien auf den Agarflächen mit Unterstützung einer, in mikrobiologischen Arbeitstechniken erfahrenen, medizinisch-technischen Angestellten ausgezählt. Da nicht alle Kolonien makroskopisch gut zu identifizieren waren, wurde insbesondere zur Zählung der Mutans Streptokokken eine Lupe zur Vergrößerung verwendet.

Um die isolierte Menge vitaler Keime pro Bürstenkopf zu bestimmen, wurden die ausgezählten koloniebildenden Einheiten (KBE) berechnet.

Da die KBE auf dem Nährboden in 20µl der ausplattierten Flüssigkeitsmenge enthalten waren, wurde die 10fache Menge in den 200µl Suspension vermutet, welche nach dem Zentrifugieren und dem Verwerfen von 800µl des Überstandes verblieben war. Durch die Sedimentation war davon auszugehen, dass sämtliche Mikroorganismen, die in 1ml Flüssigkeit waren, im Pellet und somit in den verbleibenden und resuspendierten 200µl enthalten waren. Somit ergab eine erneute Verzehnfachung die Anzahl der vom Bürstenkopf isolierten Keime (Abbildung 3.10).

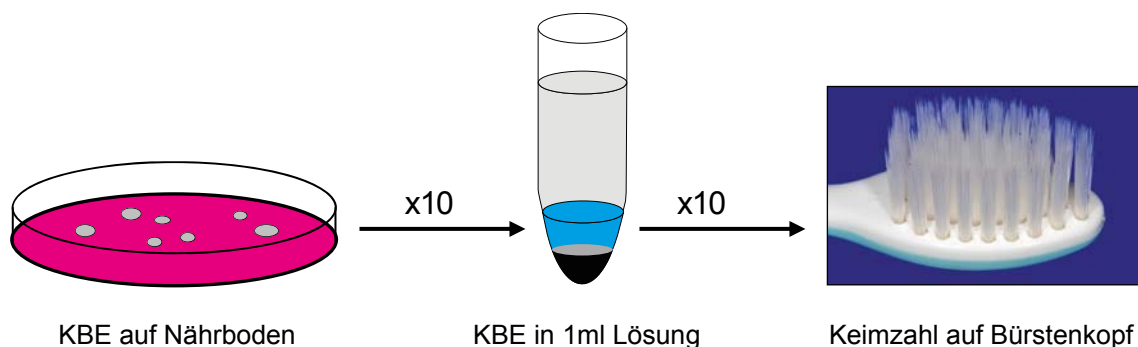


Abbildung 3.10: Skizze zur Berechnung der KBE auf dem Bürstenkopf

3.9 Mikrobiologische Untersuchungen

Als Hauptzielparameter wurde die Besiedlung der Bürstenköpfe mit *Streptokokkus mutans* bestimmt. Außerdem sollte die Besiedlung mit Laktobazillen und *Candida albicans* festgestellt werden.

3.9.1 Sputasol

Eigentlich zur Vorbehandlung von Sputum bei der Testung auf Mykobakterien gedacht, wurde in der vorliegenden Studie Sputasol (Oxoid, Basingstoke, United Kingdom) zum Auswaschen der Bürstenköpfe verwendet (Abbildung 3.11). Der Wirkstoff Dithiothreitol dient der Konservierung von Proteinen im Zellinneren in ihrer funktionalen Form. Um eine gebrauchsfertige Lösung zu erhalten, füllt man den Inhalt der im Handel erhältlichen Fläschchen (7,5ml) auf 100ml mit destilliertem Wasser auf.



Abbildung 3.11: Sputasol (links) und Aqua dest. (rechts)

3.9.2 CRT[®] bacteria

CRT[®] bacteria (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen) ist zur Kariesrisikobestimmung für den Praxisgebrauch entwickelt worden (Abbildung 3.12). Der Nährbodenträger ist mit zwei Selektivnährböden bestückt, welche nach Herstellerangaben mit Speichelproben benetzt werden. Der blaue Mitis-Salivarius-Agar dient der Identifikation von Mutans Streptokokken und ist mit Bacitracin versetzt, um die Selektion dieser Bakterien zu gewährleisten. Auf der gegenüberliegenden Seite des Trägers ist der helle Rogosaagar zur Erfassung der Laktobazillen appliziert, welcher u.a. Caseinpepton, Hefeextrakt und Glucose enthält.

Vor Gebrauch sind die Agarflächen durch Kunststoffolien vor Kontamination und Eintrocknung geschützt. Zwecks Schaffung einer optimalen Wachstumsatmosphäre für die Keime während der Inkubation wird eine Natriumhydrogencarbonat-Tablette auf den Boden des Probenbehälters gegeben, welche im Kontakt mit der austretenden Feuch-

tigkeit Kohlendioxid freisetzt. Nach der Inkubation kann die Keimmenge mit Hilfe der dem Set beiliegenden „Model Chart“ verglichen und so das bestehende Kariesrisiko bestimmt werden.

Im Fall der vorliegenden Studie wurde das Untersuchungsverfahren nicht konventionell gebraucht. Die Nährböden wurden anstelle von Speichel mit jeweils 20µl der Suspension benetzt, welche im zuvor beschriebenen Verfahren im Rahmen der Keimextraktion gewonnen wurde.



Abbildung 3.12: CRT® bacteria

3.9.3 Sabouraud Agar-Test

Dieser Nährboden (Merck KGaA, Darmstadt) dient der Selektion von *Candida* Spezies (Abbildung 3.13). Eine Besiedlung mit *Candida* stellt sich durch das Auftreten glatter weiß bis cremefarbener Kolonien dar. Das gleichzeitige Wachstum von Bakterien wird durch einen erniedrigten pH-Wert von etwa 5,6 unterdrückt. Die Selektivität dieses Nährmediums wird unter anderem durch den hohen Gehalt an Glucose bewirkt.

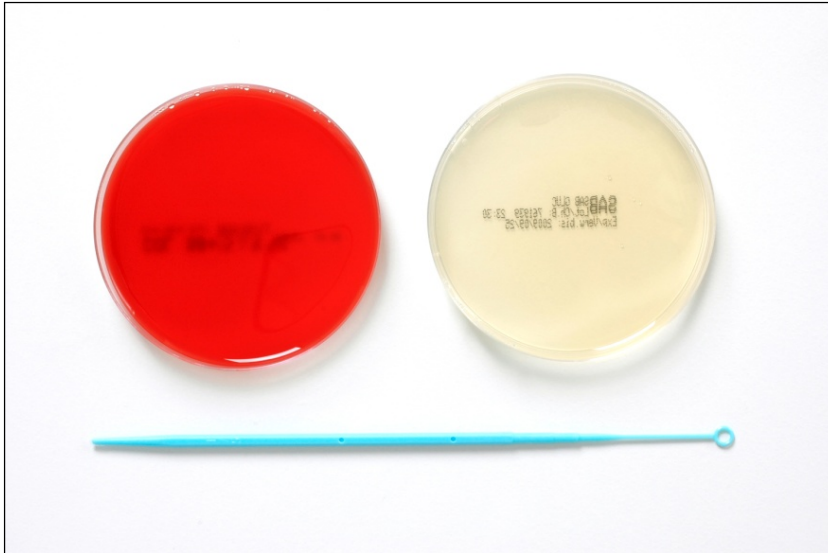


Abbildung 3.13: Sabouraud Agar-Test (rechts) und Blutagar (links) mit Impföse

3.9.4 Auxacolor™2-Test-System

Da eine rein optische Differenzierung der *Candida* Spezies auf dem Sabouraud-Agar nicht möglich ist, war zur genauen Identifizierung die Anwendung des Auxacolor-Test-Systems (Bio-Rad Laboratories GmbH, München) vorgesehen. Da jedoch kein Wachstum von *Candida* auftrat, fand der Test keine praktische Verwendung.

3.9.5 Blutagar

Blutagar (Columbia Agar Base, Oxid mit 5% defibriniertem Hammelblut; Oxoid, Basingstoke, United Kingdom) begünstigt das Wachstum von Mikroorganismen, die Bestandteile des Blutes von Säugetieren für ihre Kolonisierung benötigen (Abbildung 3.13). Es lässt sich eine hohe Varianz verschiedener Bakterienarten nachweisen. Durch das Ausstreichen der Probenlösung sollte das generelle Vorhandensein von aeroben und fakultativ anaeroben Mikroorganismen des Speichels in der ausplattierten Flüssigkeit erfasst werden.

3.10 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

3.10.1 Unbenutzte Bürstenköpfe

Eine exakte Ansicht der Oberflächenmorphologie der Borsten, deren Anordnung und Verankerung im Bürstenkörper bietet das Verfahren der Rasterelektronenmikroskopie (REM). Zwei unbenutzte und zuvor originalverpackte Bürsten jeden Typs wurden als Proben vorbereitet. Nach dem Abtrennen der Bürstenköpfe mit einer Handsäge wurden

diese zur Entfettung und Reinigung fünf Minuten in 70%igem Ethanol im Ultraschallbad ausgewaschen. Im Anschluss an die Trocknung wurden die Bürstenköpfe mit Leit C (Neubauer Chemikalien, Telgte) auf Probenteller geklebt. Während die Bürstenköpfe mit 4,5 U/min gedreht wurden, wurde mithilfe des Sputter-Verfahrens eine zusammenhängende Goldschicht auf der gesamten Oberfläche der Bürstenköpfe appliziert. Die Sputterzeit betrug fünf Minuten, so dass eine Goldschicht von etwa 100-150nm Dicke resultierte.

Die REM-Untersuchungen entstanden mit einem Rasterelektronenmikroskop der Firma Philips (PSEM 500, Eindhoven, The Netherlands) mit einer Betriebsspannung von 25kV. Um eine vergleichbare Ansicht zu gewährleisten, wurden die Bürstenköpfe aus der gleichen Projektionsrichtung fotografiert. Zur Illustration der büstenspezifischen Charakteristika erfolgten die Aufnahmen leicht schräg zur Borstenlängsachse. Interessant sind dabei sowohl die Borstenenden als auch der Verankerungsbereich, wobei nur die Verankerungsstellen der äußeren Bündel durch die Aufnahmen erfasst wurden.

3.10.2 Benutzte Bürstenköpfe

Um die Auswirkungen der zweiwöchigen Putzphase auf die Filamente darstellen zu können, wurden analog zu den REM-Aufnahmen unbenutzter Bürsten auch jeweils eine benutzte elmex® und meridol® Zahnbürste untersucht. Die beiden Bürsten wurden im Anschluss an die Keimisolierung zufällig ausgewählt, die Bürstenköpfe abgetrennt und bei Raumtemperatur trocken und staubgeschützt aufbewahrt. Es erfolgte kein Auswaschen in Ethanol. Aufgrund des zeitlichen Abstandes der beiden fotografischen Untersuchungen stand das erstgenannte Rasterelektronenmikroskop wegen eines Defekts nicht mehr zur Verfügung. Daher wurden die Aufnahmen der beiden gebrauchten Bürstenköpfe mit einem Gerät der Firma JEOL GmbH (JSM-6510, Eching) bei 3kV Spannung digital angefertigt. Der Sputtervorgang erfolgte vorab für 4 Minuten. Die Ansichten und Vergrößerungen der unbenutzten und benutzten Bürstenköpfe wurden zur besseren Vergleichbarkeit möglichst gleich gewählt.

3.11 Statistik

Das Design der Studie wurde in Zusammenarbeit mit der AG Medizinische Statistik des Instituts für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen festgelegt.

3.11.1 Stichprobenumfang

Die Bestimmung des Stichprobenumfangs wurde von Seiten des Instituts für Medizinische Informatik durchgeführt. Bezüglich der Variabilität des Hauptzielparameters „Keimzahl *S. mutans*“ lagen in der Literatur für beide Zahnbürstentypen keine Informationen vor. Da die Studie von Wetzel et al. (2005) am ehesten den zu erwartenden Voraussetzungen entsprach, wurden die dort nachgewiesenen mittleren Keimzahlwerte für *S. mutans* zweier Zahnbürsten mit dem unterschiedlichsten Borsten- und Besteckungsdesign zur Kalkulation verwendet. Bei einer Wahrscheinlichkeit für den Fehler erster Art von $\alpha=0,05$, einer Wahrscheinlichkeit für den Fehler zweiter Art von $\beta=0,1$, einem $\Delta=100$ und einem gepoolten Schätzwert für die Standardabweichung von 90, erhält man einen Schätzwert von 20 Probanden pro Gruppe. Unter Berücksichtigung eines möglichen Powerverlusts bei der Anwendung nichtparametrischer Verfahren und einer möglichen drop-out bzw. withdrawal-Rate von 10%, sollten innerhalb der durch den Faktor „Multibracketbehandlung ja/nein“ definierten Strata 25 Probanden pro Zahnbürstentyp rekrutiert werden, d. h. insgesamt 100 Probanden.

Innerhalb der Strata erfolgte die Zuordnung der Probanden zu dem Zahnbürstentyp mittels einer vorher vom Institut für Medizinische Informatik erstellten Randomisierungsliste. Entsprechend der Reihenfolge der Aufnahme in die Studie erhielt der Proband die nächste freie Randomisierungsnummer.

3.11.2 Datenanalyse

Vor der Analyse der Daten gemäß den im Studienprotokoll festgelegten Fragestellungen wurden die drei Analysekollektive *Safety*, *Full-Analysis-Set* und *Per-Protocol* definiert. Das *Safety*-Kollektiv sollte alle Probanden beinhalten, die nach der Zuordnung zu der durch den Bürstentyp definierten Gruppe die Prüfzahnbürste mindestens einmal angewandt hatten. In das *Full-Analysis-Set (FAS)* wurden alle Probanden des *Safety*-Kollektivs aufgenommen, für die nach Randomisierung der Hauptzielparameter erhoben werden konnte. Das *Per-Protocol*-Kollektiv umfasste alle Probanden des *FAS*, für die keine schwerwiegenden Protokollverletzungen vorlagen. Das Vorliegen bzw. Nichtvorliegen einer schwerwiegenden Protokollverletzung wurde vor Beginn der Analyse der Daten für jeden einzelnen Patienten festgelegt. Zur Beurteilung des möglichen Unterschieds zwischen den beiden Bürstentypen wurde das *FAS* herangezogen. Zur

Unterstützung der mit Hilfe des *FAS* gewonnenen Ergebnisse erfolgt die Analyse des *Per-Protocol*-Kollektivs. Da auch nach Transformation nicht von der Annahme der Normalverteilung ausgegangen werden konnte, wurden zur Beschreibung der Verteilung der im Rahmen dieser Studie gewonnenen stetigen Parameter der Stichprobenumfang, Minimum, Maximum, erstes und drittes Quartil und der Median getrennt nach vier Gruppen angegeben. Außerdem wurden zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den in der Literatur gemachten Angaben auch der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt. Für die diskreten Parameter wurden die absoluten und die relativen Häufigkeiten (bezogen auf den Stichprobenumfang der jeweiligen Gruppe) bestimmt.

Da der Hauptzielparameter als quantitativ angesehen, jedoch nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden konnte, wurden zur Überprüfung der Fragestellung nichtparametrische Methoden angewandt. Die Überprüfung eines möglichen globalen Unterschiedes zwischen den beiden Zahnbürsten sowie eines möglichen globalen Unterschiedes zwischen den beiden Strata Multibracketbehandlung „ja“ bzw. „nein“ wurden jeweils mittels Wilcoxon- und Mediantest durchgeführt. Der Mediantest wurde zusätzlich berechnet, da von der Voraussetzung „gleiche Verteilungsformen in den Gruppen“, wie sie für die Anwendung des Wilcoxon-Tests notwendig ist, nicht unbedingt ausgegangen werden konnte. Zur Überprüfung einer möglichen Wechselwirkung zwischen Zahnbürstentyp und Durchführung einer Multibracketbehandlung (Hauptfragestellung), wurde auf die vier (durch die beiden Faktoren Bürstentyp und MB-Apparatur definierten) Gruppen der H-Test mit dem adäquaten, das globale α -Niveau einhaltenden, Anschluss test angewandt. Da auch bei der Überprüfung der Wechselwirkung eine gleiche Verteilungsform des interessierenden Parameters in den vier Gruppen nicht vorausgesetzt werden konnte, wurden die mit obiger Vorgehensweise erhaltenen Ergebnisse mit Hilfe der logistischen Regression überprüft. Dazu wurde der Zielparameter *S. mutans* mit Hilfe des Cut-Offs „300“ und VAS-Scores „Schmerz“, „Blutung“ und „Reinigung“ mit Hilfe des jeweiligen Medians dichotomisiert. Diese Vorgehensweise kann zwar zu einem Powerverlust führen, jedoch können die mit Hilfe der logistischen Regression erhaltenen Ergebnisse zur Bestätigung der nichtparametrischen Analyseergebnisse dienen. Die deskriptive und inferenzstatistische Analyse der gewonnenen Daten erfolgte mit Hilfe des Programmpakets SAS V9.2 (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

4 Ergebnisse

4.1 Teilnehmer

4.1.1 Anzahl und Geschlecht

Nach 14-tägiger Testphase konnte bei 87 von 100 Probanden die Studie gemäß den Einschlusskriterien abgeschlossen und der Hauptzielparameter protokollgemäß bestimmt werden. Diese verteilten sich auf die Gruppen MBm (Probanden mit MB-Apparatur, meridol[®] Zahnbürste) und nMBm (Probanden ohne MB-Apparatur, meridol[®] Zahnbürste) mit jeweils 20, Gruppe MBe (Probanden mit MB-Apparatur, elmex[®] Zahnbürste) mit 23 und Gruppe nMBe (Probanden ohne MB-Apparatur, elmex[®] Zahnbürste) mit 24 Probanden. Die elmex[®] Zahnbürste wurde dabei von 47 Probanden verwendet, die meridol[®] Zahnbürste von 40. Ferner waren 26 Teilnehmer männlichen und 61 weiblichen Geschlechts, was einem Anteil von 30% bzw. 70% entspricht (Tabelle 4.1). Hinsichtlich der bakteriellen Zahnbürstenbesiedlung war kein geschlechtsspezifischer Unterschied festzustellen ($p=0,5421$).

Tabelle 4.1: Anzahl und Geschlecht der Studienteilnehmer in den einzelnen Gruppen (MBe=MB-Apparatur/elmex[®] Zahnbürste, MBm=MB-Apparatur/meridol[®] Zahnbürste, nMBe=keine MB-Apparatur/elmex[®] Zahnbürste, nMBm=keine MB-Apparatur/meridol[®] Zahnbürste)

Geschlecht	männlich		weiblich		Total
	n	%	n	%	n
MBe	9	39	14	61	23
MBm	5	25	15	75	20
nMBe	8	33	16	67	24
nMBm	4	20	16	80	20
Total	26	30	61	70	87

4.1.2 Drop-outs

Drei Teilnehmer brachen die Untersuchung vorzeitig ab; von ihnen wurden weder Zahnbürsten noch Fragebögen zurückerhalten ($n_{\text{Safety}}=97$). Jeweils zwei Probanden teilten bei Rückgabe der Zahnbürste mit, dass sie diese nicht regelmäßig verwendet hatten, dass sie antibiotische Medikamente eingenommen hatten oder gaben die Zahnbürste um mehr als 24 Stunden verspätet zurück. In diesen Fällen erfolgte keine Keimisolation. Des Weiteren zeigte sich in einem Fall bei der mikrobiologischen Analyse Schimmelpilzwachstum auf dem Nährboden für *S. mutans*, was eine weitere

Berücksichtigung ebenfalls nicht gestattete. Eine mikrobiologische Auswertung konnte somit bei 90 Zahnbürsten vorgenommen werden ($n_{FAS}=90$). Anschließend wurden drei Proben von der weiteren Analyse ausgeschlossen, da auf den zugehörigen Fragebögen die Einnahme von antiinfektiven Medikamenten vermerkt war ($n_{PerProtocol}=87$).

4.1.3 Nutzung einer anderen Zahnbürste

Die Frage, ob außer der von uns ausgehändigten Zahnbürste auch eine andere verwendet wurde, beantworteten 86 Probanden. 85% davon verneinten, 15% bestätigten die zusätzliche Verwendung ihrer eigenen Zahnbürste (Tabelle 4.2). Bei unserer Erhebung zeigte dies keinen Einfluss auf das mikrobiologische Profil der Versuchszahnbürste ($p=0,2106$).

Tabelle 4.2: Nutzung einer anderen Zahnbürste

„Nutzung einer anderen Zahnbürste“	„nein“		„ja“		Total
	n	%	n	%	n
MBe	21	91	2	9	23
MBm	19	95	1	5	20
nMBe	18	78	5	22	23
nMBm	15	75	5	25	20
Total	73	85	13	15	86

4.1.4 Erkrankung während der Putzphase

Diese Frage wurde von 87 Probanden beantwortet, wobei 69 Probanden (79%) eine Erkrankung verneinten. 18 Probanden (21%) gaben an, während des Studienintervalls krank gewesen zu sein, wobei gegebenenfalls eine Medikation erfolgte, die mit den Einschlusskriterien konform war. In Tabelle 4.3 ist die Auswertung der Frage detailliert aufgeführt. Eine Beeinflussung der untersuchten Parameter durch Krankheit konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden ($p=0,3190$).

Tabelle 4.3: Erkrankung während der Putzphase

„Während Putzphase erkrankt“	„nein“		„ja“		Total
	n	%	n	%	n
MBe	21	91	2	9	23
MBm	14	70	6	30	20
nMBe	19	79	5	21	24
nMBm	15	75	5	25	20
Total	69	79	18	21	87

4.2 Mikrobielle Besiedlung der Zahnbürsten

4.2.1 *Streptokokkus mutans*

Bei der mikrobiologischen Analyse wiesen 84% aller Zahnbürsten eine Infektion mit *S. mutans* auf. Der größte Anteil kontaminierter Bürsten war mit 96% in der Gruppe MBe zu finden. Bürsten der Gruppe nMBm waren am seltensten (70% der Fälle) besiedelt. Eine Übersicht hinsichtlich der Anzahl der kolonisierten Zahnbürsten ist in Tabelle 4.4 dargestellt.

Tabelle 4.4: Anzahl und Anteil besiedelter Zahnbürsten

Gruppe	S. mutans		Laktobazillen		Candida		Blutagar	
	n	%	n	%	n	%	n	%
MBe	22	96	4	17	0	0	12	52
MBm	18	90	0	0	0	0	8	40
nMBe	19	79	0	0	0	0	17	71
nMBm	14	70	0	0	0	0	8	40
Total	73	84	4	5	0	0	52	60

Das Borstendesign hatte keinen Einfluss auf die Retention von Mikroorganismen auf Bürstenköpfen ($p=0,6655$), wie in Abbildung 4.1 verdeutlicht. Während der Versuchsphase wurden 43 Probanden mit einer Multibracketapparatur behandelt. Bei 44 Teilnehmern befand sich währenddessen keine festsitzende Apparatur in situ. Die medianen Keimzahlwerte pro Bürste bei den Probanden ohne MB-Apparatur lagen bei 200 (nMBm) bzw. 300 (nMBe) sowie bei jeweils 700 in den beiden Gruppen mit Multibracketapparatur (MBe und MBm) (Tabelle 4.5 und Abbildung 4.2). Somit scheint die Behandlung mit einer Multibracketapparatur die Retention von Mikroorganismen (Hauptzielparameter) auf Handzahnbürsten signifikant zu begünstigen ($p=0,0003$) (Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2). Beim Vergleich aller Bürsten zeigte sich, bezogen

auf die *mittleren* Keimzahlwerte, die größte Differenz zwischen den Gruppen nMBe (400 KBE) und MBe (2322 KBE) (Tabelle 4.5 und Abbildung 4.3). Aus der ungleichen Verteilung der Keimzahlen mit einigen sehr hohen Werten resultiert der große Unterschied zwischen *medianen* und *mittleren* Keimzahlen.

Tabelle 4.5: Keimzahlen auf dem Bürstenkopf

KBE pro Zahnbürste	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	SD
MBe	0	11300	700	2322	3400
MBm	0	4000	700	1015	1108
nMBe	0	2000	300	400	514
nMBm	0	2300	200	435	645

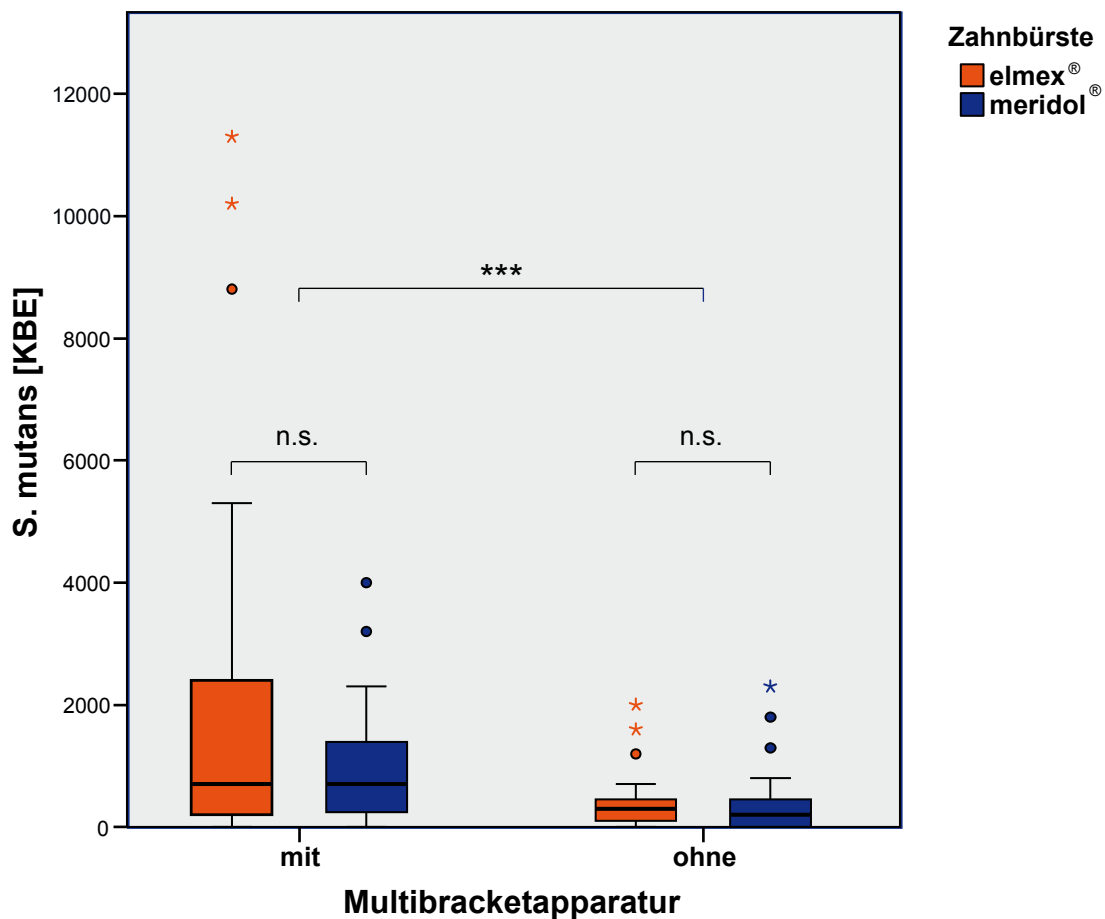


Abbildung 4.1: Boxplot der Keimzahlwerte bei Probanden mit und ohne Multibracket-Apparatur

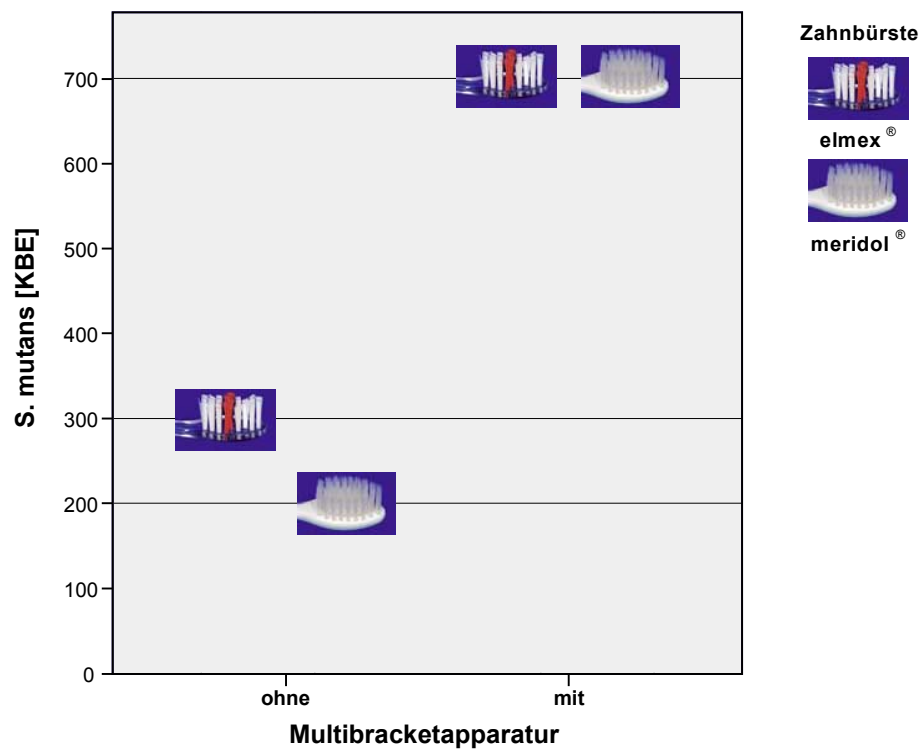


Abbildung 4.2: Mediane Keimbesiedlung beider Bürstenköpfe in Abhängigkeit einer Multibracketapparat

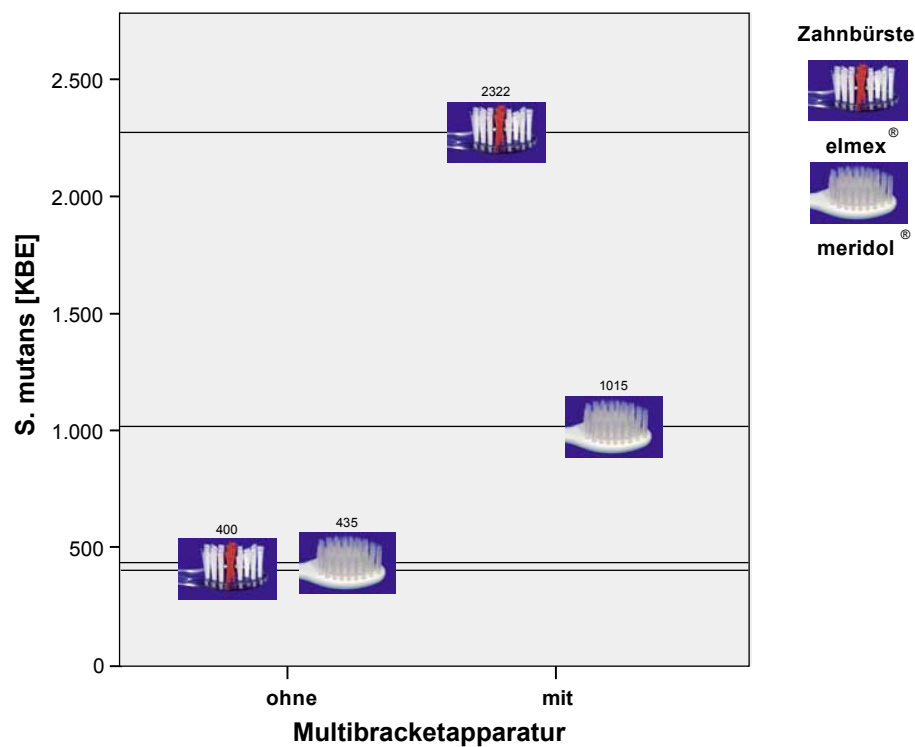


Abbildung 4.3: Mittlere Keimbesiedlung beider Bürstenköpfe in Abhängigkeit einer Multibracketapparat

4.2.2 Laktobazillen

Eine Retention von Laktobazillen zeigten 4 Bürsten (5%), ausschließlich aus der Gruppe MBe. Aufgrund der geringen Anzahl war keine statistische Auswertung vorzunehmen.

4.2.3 *Candida*

Candida Spezies waren bei keiner der Proben nachzuweisen.

4.2.4 Blutagar

Ein Wachstum auf Blutagar konnte bei 60% der untersuchten Zahnbürsten festgestellt werden. Jeweils 8 positive Proben wurden in den Gruppen MBm und nMBm registriert, 12 in der Gruppe MBe und 17 bei nMBe. Von einem Zusammenhang zwischen Gruppenzugehörigkeit und Keimnachweis auf Blutagar konnte nicht ausgegangen werden ($p=0,1268$).

4.3 Fragebogen

4.3.1 Schmerzen

Bei der Auswertung der visuellen Analogskalen konnte mittels Regressionsanalyse kein Hinweis gefunden werden, dass die verwendete Zahnbürste ($p=0,8639$) oder das Vorliegen einer Multibracketapparatur ($p=0,6544$) einen Einfluss auf die Schmerzempfindung während des Zähneputzens hatte (Abbildung 4.4).

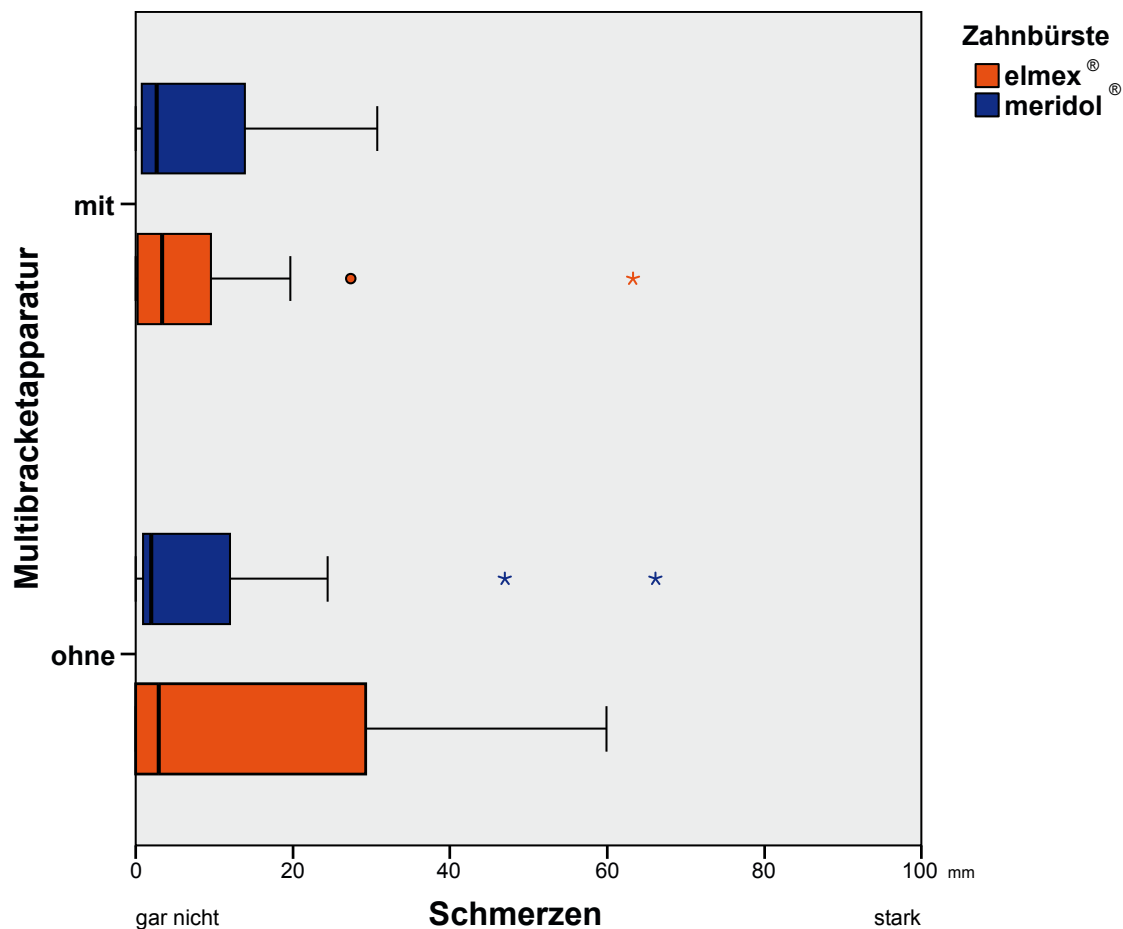


Abbildung 4.4: Vergleich des Schmerzempfindens während des Zähneputzens bei Probanden mit und ohne Multibracketapparatur

4.3.2 Blutung

Das Auftreten von Zahnfleischbluten während des Putzens schien von der Anwesenheit einer Multibracketapparatur begünstigt zu werden ($p=0,0065$). Der Gebrauch einer bestimmten Zahnbürste hingegen konnte nicht mit dem Auftreten einer Blutung in Zusammenhang gebracht werden ($p=0,6018$) (Abbildung 4.5).

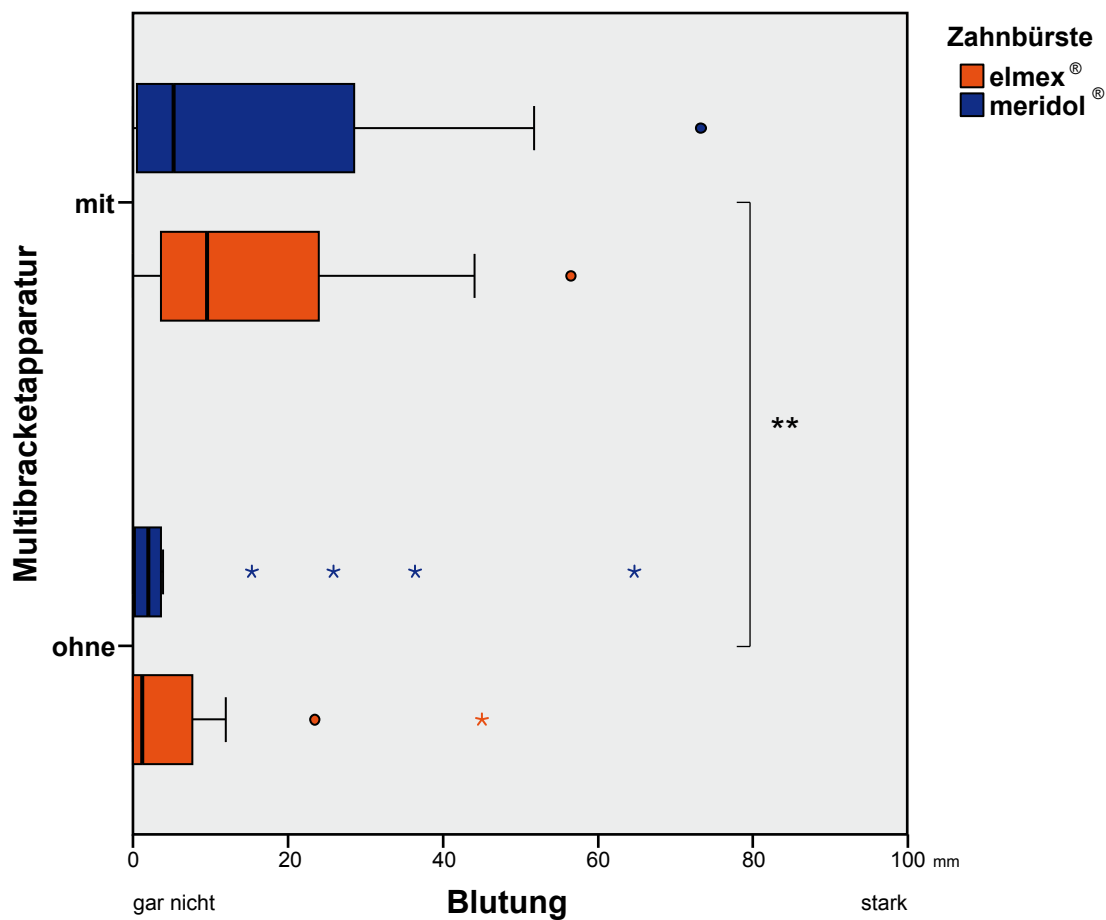


Abbildung 4.5: Vergleich der Blutungshäufigkeit während des Zähneputzens zwischen Probanden mit und ohne Multibracketapparat

4.3.3 Reinigung

Der subjektiv wahrgenommene Reinigungseffekt wurde nicht deutlich von einem bestimmten Zahnbürstentyp ($p=0,6975$) oder einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung beeinflusst ($p=0,3036$) (Abbildung 4.6). Tendenziell gaben jedoch die Probanden, die mit einer elmex® Zahnbürste geputzt hatten, an, ein besseres Reinigungsgefühl gehabt zu haben als diejenigen, die mit einer meridol® Bürste geputzt hatten. Dies galt sowohl für die Probanden mit als auch ohne MB-Apparatur.

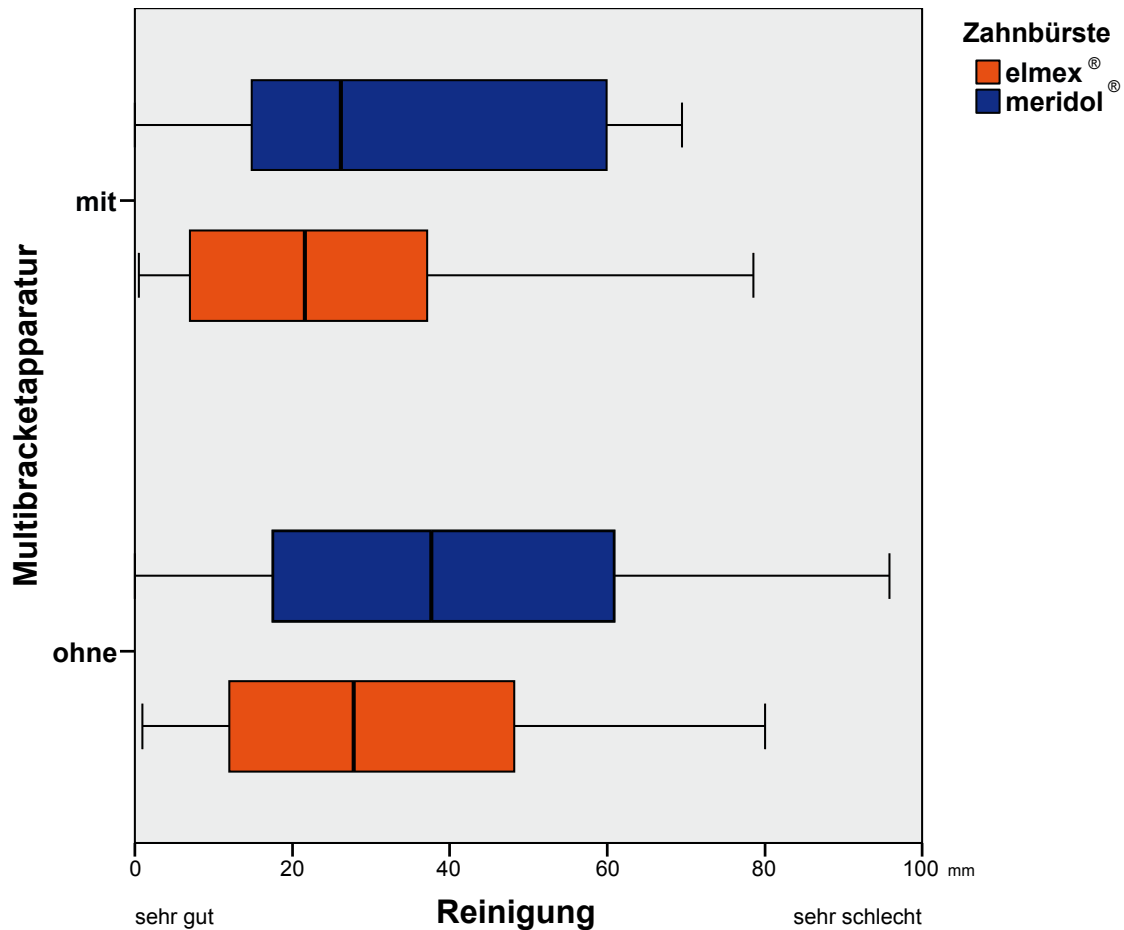


Abbildung 4.6: Vergleich des Reinigungsempfindens zwischen Probanden mit und ohne Multibracketapparat

4.4 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Die rasterelektronenmikroskopischen (REM) Aufnahmen der elmex® (Abbildung 4.7) und meridol® Zahnbürste (Abbildung 4.8) im fabrikneuen Zustand sowie nach zweiwöchiger Gebrauchsdauer (Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10) werden im Folgenden dargestellt. Abbildung 4.11 zeigt die makroskopische Ansicht der beiden benutzten Bürstenköpfe nach dem Sputtern.

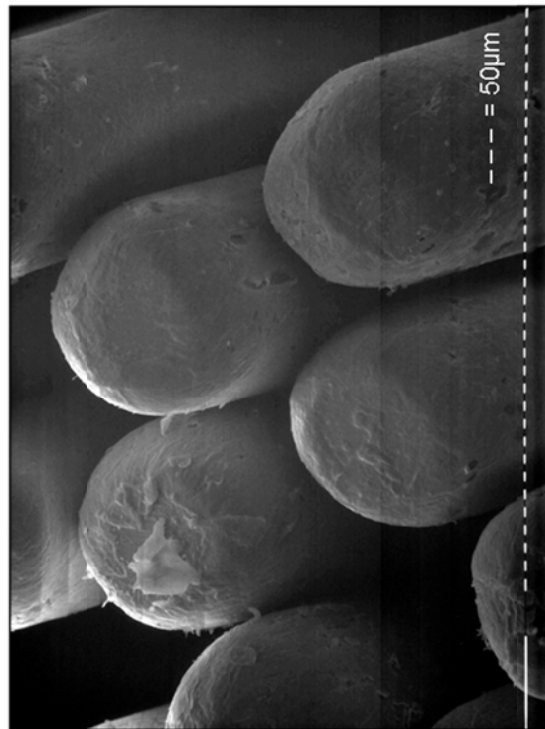
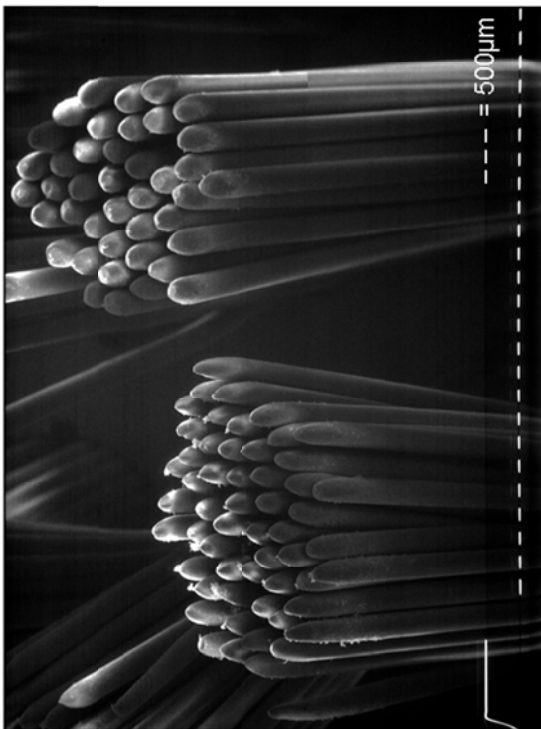
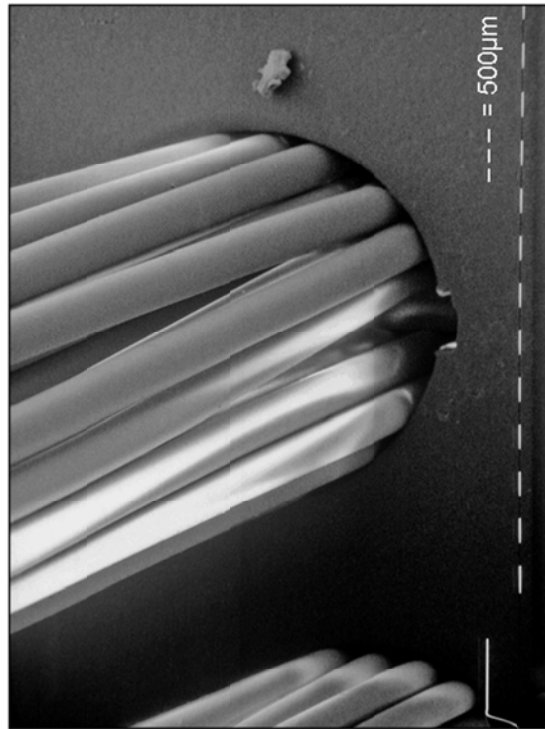
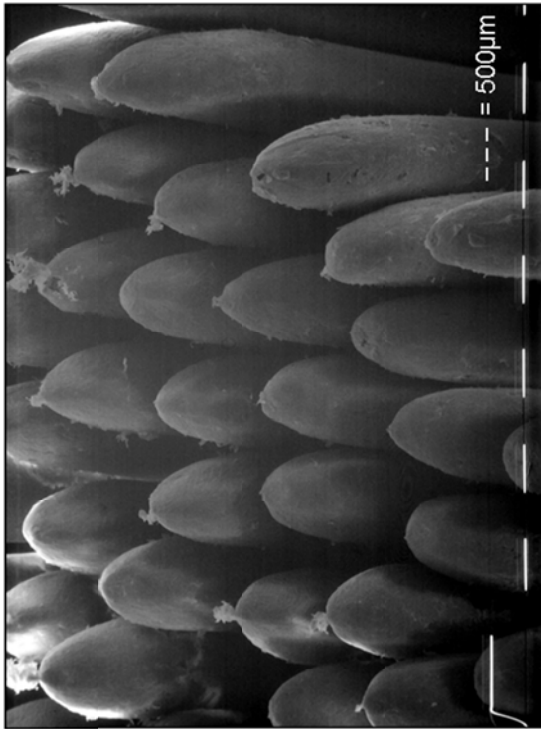


Abbildung 4.7: Borstenbüschel und -enden sowie Verankerungsstelle einer neuen elmex[®] Zahnbürste (Schrägsicht)

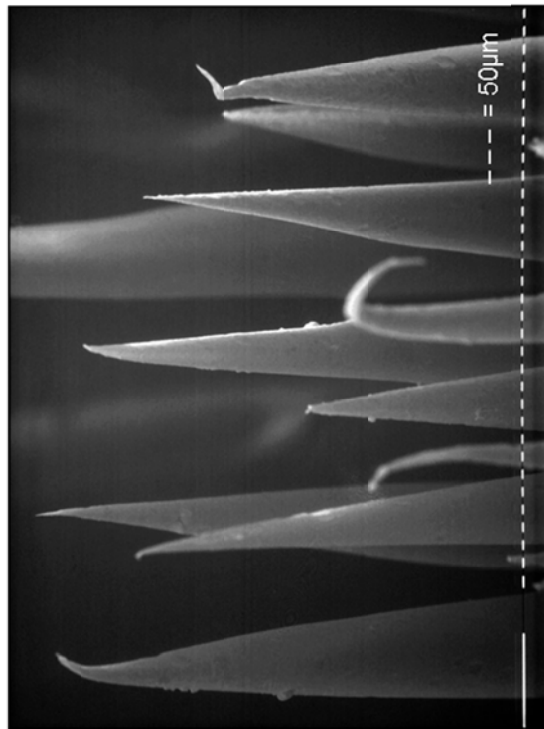
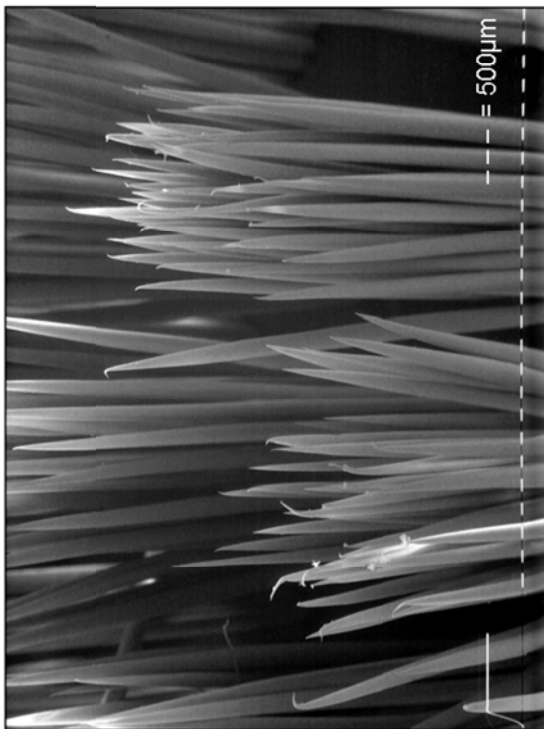
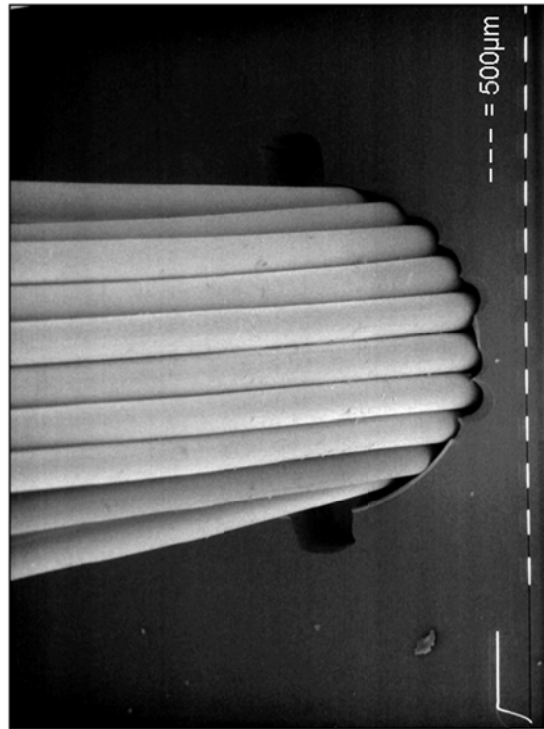
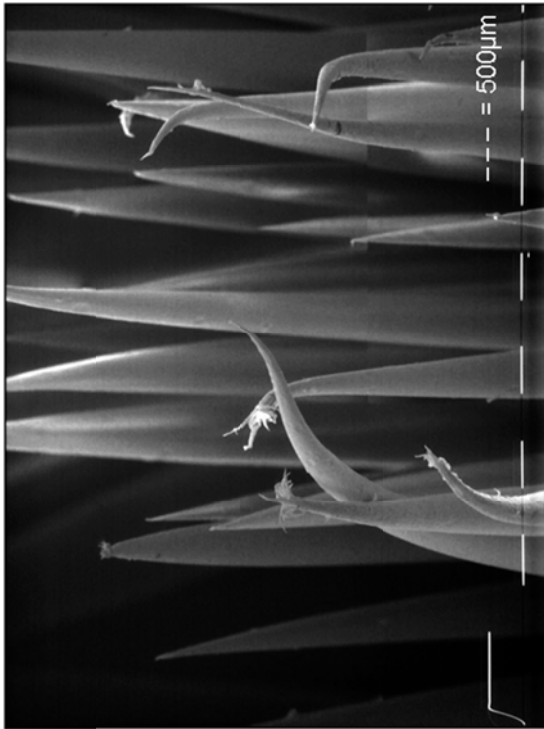


Abbildung 4.8: Borstenbüschel und -enden sowie Verankerungsstelle einer neuen meridol[®] Zahnbürste (Schrägensicht)

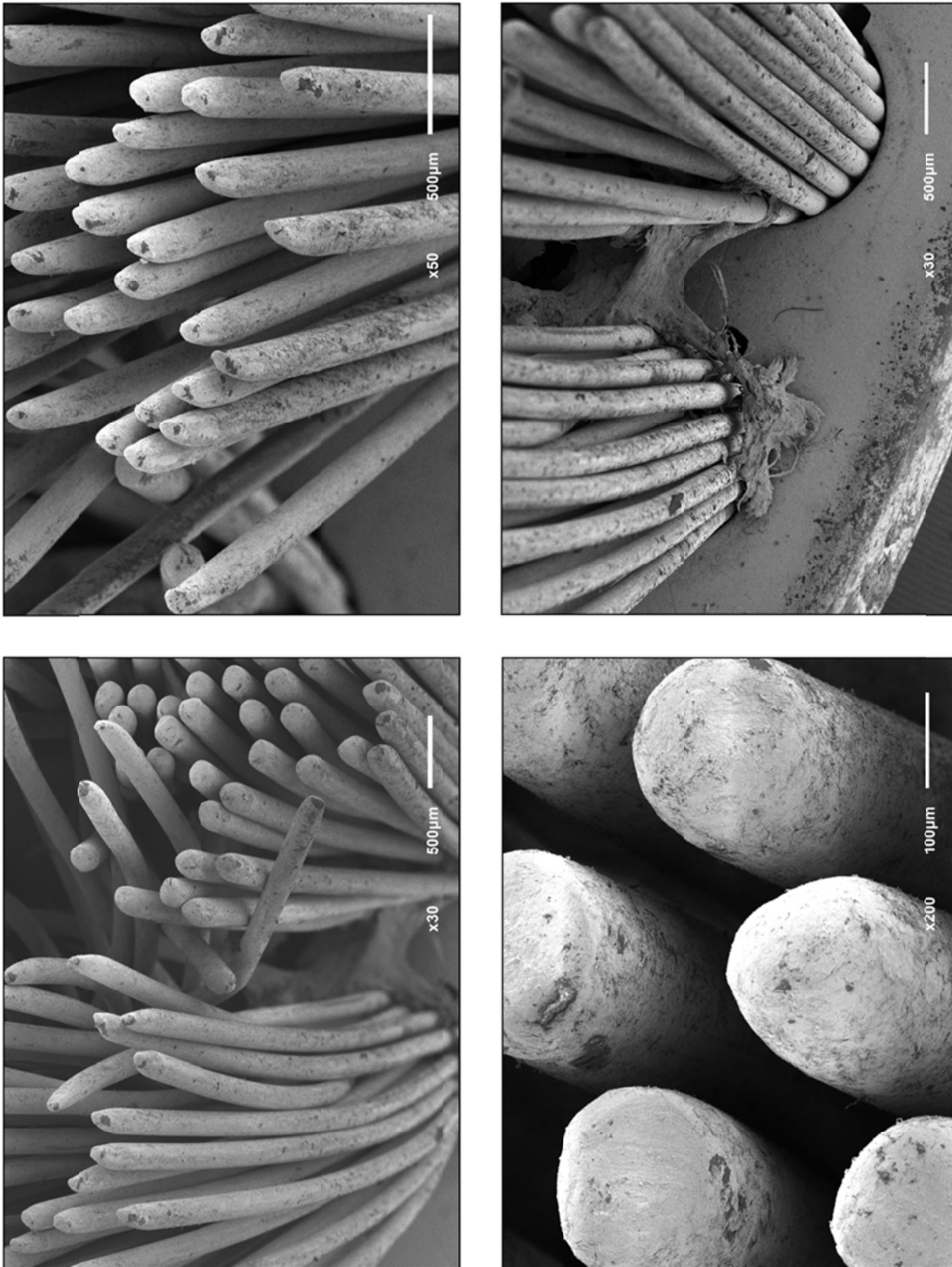


Abbildung 4.9: Borstenbüschel und -enden sowie Verankerungsstelle einer elmex® Zahnbürste nach 14-tägiger Gebrauchsdauer (Schrägansicht)

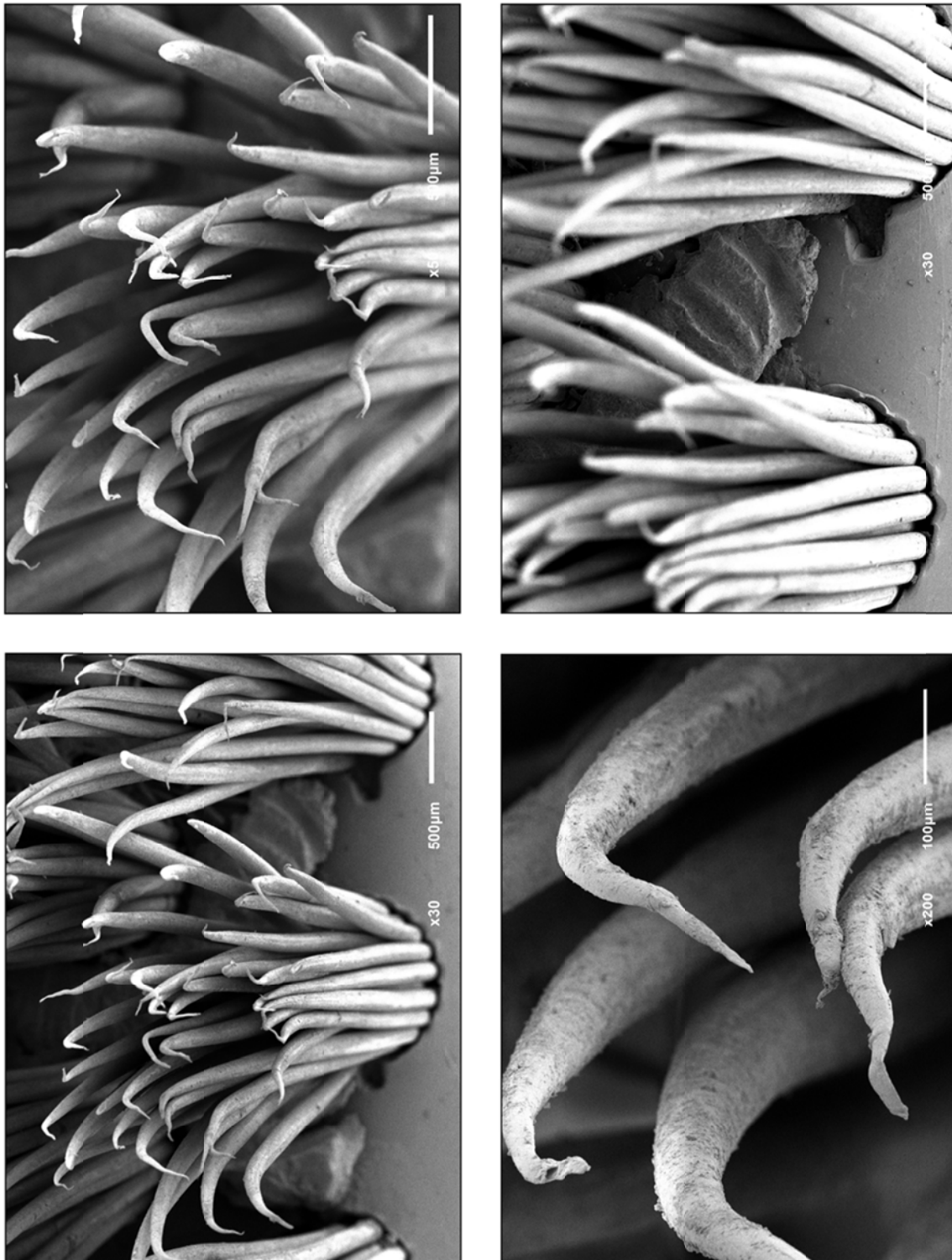


Abbildung 4.10: Borstenbüschel und -enden sowie Verankerungsstelle einer meridol® Zahnbürste nach 14-tägiger Gebrauchsdauer (Schrägansicht)

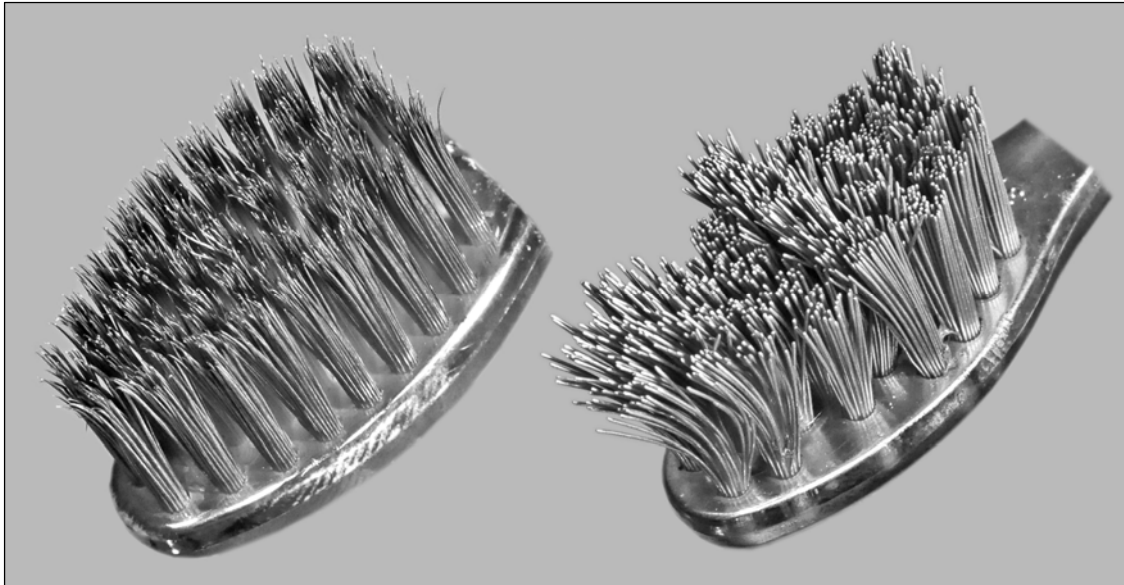


Abbildung 4.11: Makroskopische Ansicht der beiden benutzten Bürstenköpfe (elmex[®] rechts, meridol[®] links)

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war, das Ausmaß der Retention kariesassoziierter Mikroorganismen auf zwei Zahnbürstenarten unterschiedlichen Borstendesigns (mikrofein konisch und konventionell zylindrisch) gegenüberzustellen. Dies sollte vergleichend sowohl bei Probanden mit als auch ohne Multibracketapparatur analysiert werden, um daraus eine Empfehlung bezüglich eines geeigneten Borstendesigns zur Verwendung während der kieferorthopädischen Behandlung ableiten zu können.

5.1 Material und Methode

5.1.1 Studienteilnehmer

Die teilnehmenden Probanden gliederten sich in 50 Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen, die eine Multibracketapparatur in situ hatten, sowie 50 Studenten der Zahnheilkunde der o. g. Universität ohne Multibracketapparatur. Während das Alter der Patienten durchschnittlich 13,6 Jahren betrug, und somit der üblichen Altersgruppe kieferorthopädischer MB-Patienten entsprach, war das Alter der Studierenden mit etwa 24,5 Jahren höher als das der Probanden mit MB-Apparatur, jedoch der typischen Altersgruppe Studierender entsprechend.

Trotz unterschiedlicher Altersstruktur und Genese der Teilnehmer waren diese hinsichtlich der zu erwartenden Mundhygienegewohnheiten vergleichbar. Ein gesteigertes Bewusstsein für orale Prophylaxe, wie es vielleicht bei Studenten der Zahnheilkunde zu erwarten wäre, konnten Dąbrowska et al. (2006) sowie Lang et al. (1977) nicht bestätigen. Überdies war, abgesehen vom Einfluss der kieferorthopädischen Apparatur, von einer analogen mikrobiellen Situation bei Patienten und Studenten auszugehen, da bestätigt werden konnte, dass Versuchspersonen verschiedenen Alters vergleichbare intraorale Keimquantitäten und -prävalenzen aufweisen. Dies bezieht sich sowohl auf *S. mutans* als auch auf Laktobazillen und *Candida*, wobei die beiden letztgenannten eine tendenziell steigende Prävalenz erst im hohen Lebensalter erkennen lassen (Percival et al. 1991, Parvinen und Larmas 1982). Auch Kozai et al. (1989) konnte keinen altersabhängigen mikrobiellen Unterschied zwischen den Zahnbürsten von Kindern und Jugendlichen ableiten.

Die Geschlechterverteilung war mit insgesamt 61 (70%) weiblichen und 26 (30%) männlichen Probanden leicht schief, was vermutlich mit der geschlechterungleichen Nachfrage sowohl einer kieferorthopädischen Behandlung als auch des zahnmedizinischen Studiengangs zu erklären ist. So umfassten die Neuaufnahmen der Poliklinik für

Kieferorthopädie im Jahr 2010 44,7% männliche und 55,3% weibliche Patienten. Ein stärkeres Interesse weiblicher Patienten an einer kieferorthopädischen Behandlung wurde bereits häufiger vermerkt (Krey und Hirsch 2011, Burden 1995, Wheeler et al. 1994). Während Mädchen einen deutlich größeren Behandlungswunsch äußerten, war der Behandlungsbedarf in der Untersuchung von Wheeler et al. (1994) bei Jungen sogar tendenziell höher. Dies könnte den gewonnenen subjektiven Eindruck bestätigen, dass männliche Patienten und Studenten eine geringere Motivation zeigten, an unserer Untersuchung teilzunehmen. Auch bei den Studierenden im Fach Zahnheilkunde zeigt sich ein höherer Anteil Frauen: Für diesen Studiengang waren im Wintersemester 2010/2011 an deutschen Universitäten insgesamt 14446 Personen, davon 5604 Männer und 8842 Frauen, eingeschrieben (Statistisches Bundesamt), was einer prozentualen Verteilung von 38,8% zu 61,2% entspricht.

5.1.2 Einschlusskriterien

Zur Studienteilnahme wurde ein permanentes naturgesundes oder konservierend versorgtes Gebiss vorausgesetzt. Insbesondere das mikrobiologische Profil der Mundhöhle wird im Hinblick auf kariesassoziierte Mikroorganismen vom Dentalstatus beeinflusst. Während einige Bakterienspezies bereits im Milchgebiss etabliert sind, zeigt sich im permanenten Gebiss eine veränderte mikrobielle Flora. Nach Aas et al. (2008) beeinflussen außerdem kariöse Läsionen, abhängig von deren Progressionsstadium, die bakterielle Zusammensetzung dentaler Plaque. Da jedoch sämtliche Probanden über eine bleibende kariesfreie Dentition verfügten, konnte eine vergleichbare intraorale Ausgangssituation gewährleistet werden, so dass der einzige mikrobielle Einflussfaktor auf das Vorliegen einer MB-Apparatur begrenzt wurde.

5.1.3 Ausschlusskriterien

Als Ausschlusskriterien wurden unter anderem Allgemeinerkrankungen wie z. B. endokrine, infektiöse oder Autoimmunerkrankungen definiert. Akute oder chronische systemische Erkrankungen können die Mundhygiene, die orale Flora sowie die Entzündungsneigung der Mundschleimhaut sowohl direkt als auch indirekt durch die Einnahme von Medikamenten beeinflussen (Chi et al. 2010, Ship 2003). Da auch körperliche oder geistige Einschränkungen die Mundhygienefähigkeit beeinträchtigen (Anders und Davis 2010, Becker et al. 2001), wurden Teilnehmer mit diesen Behinderungen nicht in die Studie eingeschlossen. Auch eine Dauermedikation bzw. die Einnahme antibiotischer Wirkstoffe während der Putzphase führten zum Ausschluss als Proband, da eine mögliche Akkumulation von Antibiotika in oralen Geweben die assoziierte Mikrobiota verändern könnte. So wiesen Gomi et al. (2007) mehr als 14

Tage nach Absetzen des Arzneimittels einen zuvor verabreichten antibiotischen Wirkstoff in der Gingiva nach, der die Bakterienzahl der supra- und subgingivalen Plaque, deren Spezies oder pathogenes Potential möglicherweise beeinflussen kann. Aufgrund dieser Wash-Out-Periode können die gewählten Ausschlusskriterien hinterfragt werden, da lediglich der Gebrauch von Antibiotika im Verlauf der Putzphase, nicht jedoch eine Medikation kurz vor Beginn der Studie ausgeschlossen wurde und somit theoretisch eine andauernde antibakterielle Wirkung auf orale Mikroorganismen auch nach Beendigung der Therapie möglich gewesen wäre. Allerdings zeigte in der Untersuchung von Baglie et al. (2007) Amoxicillin, ein häufig verwendetes Präparat bei oralen Infektionen, einen kurzzeitigen Effekt auf die Reduktion oraler Keime, welche nur bis etwa 12 Stunden nach der Verabreichung des Medikaments nachgewiesen werden konnte. Da die Konzentration systemischer Antibiotika in der Gingiva und insbesondere im Speichel sehr gering und von kurzer Dauer ist (Sakellari et al. 2000), erscheint eine Beeinflussung der untersuchten Mikroorganismen durch eine etwaige antibiotische Medikation vor Beginn der Putzphase unwahrscheinlich.

5.1.4 Studiendesign

Die Konzeption der explorativen Studie entsprach weitmöglich den Leitlinien zur guten klinischen Praxis (ICH-GCP). Mit der Randomisierung und Pseudonymisierung der Teilnehmer konnte ein Selektionsbias vermieden werden. Die Verblindung des Untersuchers sowie das Auszählen der koloniebildenden Einheiten durch eine MTA gewährleisteten überdies die Vermeidung eines Messungsbias.

5.1.5 Verwendete Mundhygieneprodukte

Die in der Untersuchung verwendeten Zahnbürsten weisen deutlich unterschiedliche Merkmale auf, von denen angenommen wurde, dass sie einen Einfluss auf die Retention von Mikroorganismen haben können. Die elmex® Zahnbürste hat weniger Borstenbüschel als die meridol® Zahnbürste (27 vs. 37) sowie gleichmäßig zylindrische Nylon-Filamente. Die meridol® Zahnbürste weist hingegen von der Basis zur Spitze konisch zulaufende Polyester-Filamente auf. Die im Vergleich zur elmex® Zahnbürste hohe Filamentanzahl und -dichte ließ bei der meridol® Zahnbürste vermuten, dass aufgrund von Kapillarwirkung und erschwerter Trocknung eine höhere Anzahl von Mikroorganismen nachzuweisen sein könnte (Glass 1992, Wetzel et al. 2005, Nies et al. 2008). Inwiefern das synthetische Filamentmaterial einen Einfluss auf die Kolonisation von Keimen hat, wurde in der Literatur bislang nicht diskutiert. Lediglich mögliche Unebenheiten an der Oberfläche konnten als begünstigender Faktor für die Keimretention nachgewiesen werden (Glass und Jensen 1988, Verran und Leahy-Gilmartin 1996).

Allen Studienteilnehmern wurde zur Verwendung während der Putzphase die gleiche Zahnpasta (elmex®) zur Verfügung gestellt, damit von einem einheitlichen Einfluss bezüglich Retention und Vitalität der Mikroorganismen ausgegangen werden konnte. Die Verwendung von Zahnpasta kann einen inhibierenden Effekt auf die mikrobielle Besiedlung des Borstenfeldes haben. So stellten Quirynen et al. (2001) fest, dass Zahnbürsten nach dem Zähneputzen mit Zahnpasta etwa 20% weniger Bakterien aufweisen als Bürsten, die ohne Zahnpasta benutzt wurden. Dieser signifikante Unterschied wurde vor allem auf die in den Zahnpasten enthaltenen Tenside zurückgeführt, da eine weitere Zahnpasta ohne entsprechende Zusätze keine keimreduzierende Wirkung hervorrief. Ein vergleichbares Ergebnis wurde in einer weiteren Untersuchung erzielt (Warren et al. 2001), allerdings konnte dort selbst eine Zahnpasta mit bakteriostatischem Zusatz (Triclosan) keinen nennenswerten weiteren Effekt aufweisen. Fluoride, die Zahnpasten primär aus Gründen der Kariesprophylaxe zugesetzt werden, haben ebenfalls einen konzentrationsabhängigen bakteriziden Effekt. Sie können die Bakterienmembran durchdringen und bakterielle Enzyme der Glykolyse hemmen (van Loveren et al. 2008). Dabei scheint das in der verwendeten elmex® Zahnpasta enthaltene Aminfluorid die bakterielle Adhärenz ähnlich wirksam zu verhindern wie die bereits erwähnten Tenside (nicht in der elmex® Zahnpasta enthalten) (Quirynen et al. 2003). Die durch die Zahnpasta erzielte Keimzahlreduktion ist demnach in vivo zwar wünschenswert, kann aber eine Keimisolation von den Bürstenköpfen erschweren, da weniger Mikroorganismen zum Nachweis vorhanden sind. Da jedoch in allen Gruppen die gleiche Zahnpasta verwendet wurde, ist zu erwarten, dass die Keimzahl auf den Bürsten um etwa den gleichen Faktor reduziert wurde.

5.1.6 Anwendung der Zahnbürsten

Die ausgehändigten Zahnbürsten sollten über einen Zeitraum von 14 Tagen zweimal täglich für etwa drei Minuten zum Putzen verwendet werden. Durch die einheitlichen Anweisungen, zum Beispiel bezüglich Lagerung und Ausspülen der Bürste oder Menge der zu verwendenden Zahnpasta, konnten vergleichbare Bedingungen der Keimretention gewährleistet werden. Gleichzeitig sollten während der Versuchsphase möglichst „normale“ Voraussetzungen täglicher Mundhygiene der Teilnehmer bestehen, weswegen auch der Gebrauch von Zahnseide erlaubt war. Die zweiwöchige Nutzungsdauer der Bürsten wurde ebenso wie die Methode der Keimisolierung in Anlehnung an die Untersuchung von Nies et al. (2008) gewählt. Wenngleich bereits nach einmaligem Gebrauch einer Zahnbürste die Retention von Mikroorganismen nachgewiesen werden kann (Wetzel et al. 2005, Efstratiou et al. 2007, Warren et al. 2001), scheint eine Untersuchung der Bürsten nach einer längeren Gebrauchsdauer eher den natürlichen

Nutzungsbedingungen zu entsprechen. In der Literatur sind bei in vivo durchgeführten Untersuchungen stark unterschiedliche Nutzungszeiten der Zahnbürsten zu verzeichnen. So berichten Noga et al. (1976) von einer Gebrauchsdauer von über 12 Monaten bei einem Drittel der untersuchten Zahnbürsten einer Gruppe Marinesoldaten. Ebenso erwähnten Caudry et al. (1995) eine durchschnittliche Nutzung der von ihnen analysierten Bürsten von 12 Monaten. In Deutschland ist pro Person von einem jährlichen Gebrauch von zwei bis drei Zahnbürsten auszugehen, was einer jeweiligen Nutzungsdauer zwischen vier und sechs Monaten entspricht (Koch et al. 2007). Eine allgemeingültige zeitliche Empfehlung zur Nutzung von Zahnbürsten ist in der Literatur nicht ersichtlich und erscheint überdies nicht sinnvoll, da die Beanspruchung einer Zahnbürste abhängig von Putztechnik, -druck und verwendetem Produkt individuell sehr verschieden ist (Koch et al. 2007). Generell kann davon ausgegangen werden, dass eine Zahnbürste bei MB-Patienten, auch unabhängig von Putztechnik und -druck, einer sehr viel stärkeren mechanischen Beanspruchung unterliegt, da die Borsten durch die unebene und profilierte Struktur der Apparatur vermehrt abgebogen werden als beim Putzen von glatten konvexen Zahnoberflächen. Da die Zahnbürsten in der vorliegenden Untersuchung primär mikrobiologisch untersucht werden sollten, erschien eine 14-tägige Nutzungsdauer ausreichend und für die Probanden, auch aus Gründen der Compliance, gut praktikabel.

5.1.7 Fragebogen

Zeitgleich mit Rückgabe der Zahnbürsten wurden die zuvor ausgehändigten Fragebögen eingesammelt, auf denen die Teilnehmer sich zu Erkrankungen oder Medikamentengebrauch während der Putzphase äußern sollten und anhand der drei VAS subjektive Angaben zu Reinigungsvermögen, Schmerzempfindung und gingivaler Blutungshäufigkeit machen konnten. Im Rahmen einer Studie über Reinigungseffektivität und Handling von Interdentalbürsten bei kieferorthopädischen Patienten, nutzten Bock et al. (2010) bereits vergleichbare VAS. Von sämtlichen Teilnehmern, bei denen der Hauptzielparameter bestimmt werden konnte, erhielten wir einen vollständig ausgefüllten Fragebogen zurück (n=87). Die Verwendung eines pseudonymisierten Fragebogens wurde gegenüber eines mündlichen Interviews bevorzugt, da insbesondere mittels der VAS exaktere Angaben bezüglich der individuellen Empfindungen während der Nutzung der Zahnbürste erhoben werden können. Riley zeigte (2004) in einem Review, dass Kinder bereits mit etwa 6 Jahren anhand eines Fragebogens zuverlässige Angaben über ihr körperliches Befinden machen können, was sich bis zum Alter von 11 Jahren stetig verbessert. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen auch Jokovic et al. (2002), die belegten, dass Jugendliche zwischen 11 und 14 Jahren anhand

eines von ihnen entwickelten Fragebogens klare Aussagen zur oralen Gesundheitswahrnehmung machen konnten.

Die Anwendung visueller Analogskalen (VAS) zur Erfassung subjektiver Empfindungen, wie z. B. Schmerzen, wird in klinischen Untersuchungen häufig eingesetzt und ist dem Einsatz graphischer oder verbaler Methoden überlegen (Huskisson 1974). Da bei Skalen von 10cm Länge der Messfehler gegenüber VAS mit 5 oder 20cm am geringsten ist (Seymour et al. 1985), wurde diese Größe bei der Konzeption des Fragebogens gewählt. Eine horizontale Ausrichtung der VAS wurde überdies von Scott und Huskisson (1979), aufgrund tendenziell geringerer Scores, als der vertikalen leicht überlegen beschrieben.

Anhand mündlicher Instruktionen wurden die Probanden gebeten, den Fragebogen nach dem letztmaligen Zähneputzen im häuslichen Umfeld auszufüllen. Der zeitlich kurze Abstand zum Gebrauch der Zahnbürste sollte eine präzisere Assoziation mit der verwendeten Bürste gewährleisten und eine unmittelbare Bewertung ermöglichen, als das im klinischen Umfeld der Fall gewesen wäre.

5.1.8 Isolation der Mikroorganismen

Die zur Keimisolation angewandte Methode mittels SputasolLösung fand auch bei den Untersuchungen von Wetzel et al. (2005) und Nies et al. (2008) Verwendung. Das Präparat mit dem Wirkstoff Dithiothreitol wird hauptsächlich zur Verflüssigung von Sputum vor mikrobiologischen Analysen verwendet, um Bakterien aus deren viskoser Umgebung isolieren zu können (McClellan et al. 2010). Analog dazu wurde demnach angenommen, dass Sputasol auch die Herauslösung von Keimen aus den Bürstenköpfen anhaftenden amorphen Plaque- oder Zahnpastarückständen begünstigt. Pye et al. konnten (1995) damit deutlich mehr Bakterien aus Sputumproben unterschiedlicher Konsistenz gewinnen als unter alleiniger Verwendung von NaCl 0,9% oder der Homogenisierung mit Glasperlen. Darüber hinaus konnten keine antibakteriellen Effekte von Sputasol abgeleitet werden.

Zum Nachweis von Laktobazillen und Mutans Streptokokken wurde der CRT[®] bacteria Kariesrisikotest eingesetzt, welcher je einen Selektivnährboden auf den beiden Seiten des Kunststoffträgers enthält. Der Mitis-Salivarius-Agar mit Bacitracin (MSB) wurde 1973 von Gold et al. erstmals als Selektivmedium für *S. mutans* erwähnt und ist mittlerweile als Standardmedium zur Anzucht dieser Bakterienspezies etabliert. Jedoch wird aufgrund der hohen Selektivität des MSB eine tendenziell geringere Kultivierbarkeit von *S. mutans* im Vergleich zu weiteren spezifischen Nährböden diskutiert (Hildebrandt und Bretz 2006, Emilson und Bratthall 1976). Auch Schaeken et al. (1986)

sprechen sich gegen die Verwendung von MSB Nährböden aus und schlagen als Alternative den Gebrauch von TYCSB¹-Agar vor, auf welchem sie etwa 10fach höhere Keimmengen von *S. mutans* verglichen mit MSB nachweisen konnten. Im Rahmen dieser Studie wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit (Methode von Wetzal et al. 2005 und Nies et al. 2008) sowie aufgrund der einfachen Handhabung der CRT[®] bacteria mit MSB verwendet.

Zu Beginn der 50er Jahre wurde von Rogosa et al. (1951) der gleichnamige Agar zum Nachweis von Laktobazillen beschrieben. Er erlaubt insbesondere ein Wachstum von oralen Laktobazillen und erschwert gleichzeitig eine Kolonisierung weiterer Keime.

Da kein Wachstum von *Candida* Spezies auftrat, wird an dieser Stelle auf eine differenzierte Betrachtung des Sabouraud Agar-Tests sowie des AuxacolorTM2-Test-Systems verzichtet.

Zur Überprüfung des generellen Vorhandenseins von Mikroorganismen in der Spüllösung der Bürstenköpfe wurde Blutagar verwendet. Auf eine weitere Reinkultivierung dort gewachsener Kolonien wurde aus praktischen Gründen verzichtet, weil die kariesassoziierten Mikroorganismen den Schwerpunkt dieser Untersuchung bildeten.

In der Literatur werden unterschiedliche Methoden der Keimisolierung von Zahnbürsten diskutiert. Dabei differieren sowohl die Maßnahmen bei der mechanischen Ablösung der Mikroorganismen als auch die Kultivierung der Keime oder die dazu verwendeten Nährmedien. Beispielsweise nutzten Berger et al. (2008) Abstriche des Borstenfeldes zur unmittelbaren Übertragung auf Nährböden, während andere Autoren mehrfach ein mechanisch unterstütztes Auswaschen der Bürstenköpfe in einer kleinen Menge Flüssigkeit auf einem Vortexer beschreiben. Dazu wird die Verwendung von NaCl 0,9%² (Caudry et al. 1995, Spolidorio et al. 2003) ebenso erwähnt wie die Spülung der Bürstenköpfe mit RTF³, PBS⁴ (Mehta et al. 2007, Verran und Leahy-Gilmartin 1996), BHI⁵ (Glass und Jensen 1994) oder PPS⁶ (Warren et al. 2001). Während häufig der gesamte Kopf der Zahnbürste zur mikrobiellen Analyse ausgewaschen wird, werden in einzelnen Untersuchungen abgetrennte Borstenbüschel zur Keimextrahierung genutzt (Quirynen et al. 2001, Efstratiou et al. 2007, Goldsmith et al. 2007). Neben Wetzal et al. (2005) und Nies et al. (2008) schildern auch Kozai et al. (1989) sowie Verran und Leahy-Gilmartin (1996) die mechanische Ablösung von Keimen und Putzrückständen

¹ Trypticase yeast extract cystine sucrose bacitracin

² Physiologische Kochsalzlösung

³ Reduced transport fluid

⁴ Phosphate buffered saline

⁵ Brain heart infusion broth

⁶ Pre-reduced peptone saline

von den Bürstenköpfen durch die mechanische Kavitationswirkung von Ultraschall. Ein ähnlicher Effekt soll durch den Gebrauch von Glasperlen erreicht werden, welche durch etwa 1-minütiges Schütteln die an den Filamenten anhaftenden Bakterien lösen, wie bei Neal und Rippin (2003) und Malmberg et al. (1994) beschrieben.

Anzahl und Art der genutzten Nährmedien variieren stark zwischen verschiedenen Untersuchungen aufgrund der Vielfalt analysierter Keimspezies. Der Gebrauch von Mitis Salivarius Agar für die Kultivierung von *S. mutans* wird auch von Goldsmith et al. (2007) und Kozai et al. (1989) beschrieben. Alternativ wurden zu diesem Zweck auch Columbia-Agar (Bunetel et al. 2000) und TYCSB-Agar (Efstratiou et al. 2007, Quirynen et al. 2003) erwähnt. Den Nachweis von Laktobazillen erbrachten Malmberg et al. (1994) und Efstratiou et al. (2007) mit Rogosaagar. Zur Selektierung von *Candida* Spezies wird die Inkubation der verdünnten Keimlösungen auf Sabouraud-Agar häufig genannt (Verran und Leahy-Gilmartin 1996, Bunetel et al. 2000, Noga et al. 1976). Nicht immer werden gewonnene Keimsuspensionen auf Nährböden appliziert. In drei Untersuchungen schilderten Nelson-Filho et al. (2000, 2004 und 2006) die Inkubation der gesamten Bürstenköpfe in Bacitracin-Saccharose Nährlösung, um danach adhärenzte *S. mutans* Kolonien zu quantifizieren. Hingegen applizierten Caudry et al. (1995) abgetrennte Borsten auf den Nährboden, was bereits zuvor von Noga et al. (1976) beschrieben wurde, die außerdem die Zahnbürsten zur Beimpfung der Nährböden 1-2mm in diese eindrückten. In der aktuellen Untersuchung wählten wir das Ausstreichen einer Keimsuspension auf Nährböden, da diese Verfahrensweise in der Literatur das gebräuchlichste beschriebene Verfahren zum Nachweis von Keimen auf Zahnbürstenköpfen darstellt. Dabei kann, im Vergleich zu Abstrichen oder der Analyse einzelner Büschel bzw. Borsten, das gesamte Keimspektrum des Bürstenkopfes quantitativ erfasst werden, und überdies wird durch die Suspension eher eine gleichmäßige Verteilung der Keime auf dem Kulturmedium mit vereinfachter und exakter Bestimmung deren Zahl ermöglicht.

5.1.9 Bestimmung der koloniebildenden Einheiten (KBE)

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurde die ermittelte Keimzahl auf KBE pro Bürstenkopf umgerechnet und nicht als Keimmenge der durch das Auswaschen gewonnenen Suspension angegeben. Anzunehmen ist, dass auch nach der Keimisolierung noch Mikroorganismen auf dem Bürstenkopf retiniert bleiben und somit eine vollständige Keimextrahierung unwahrscheinlich erscheint. Allerdings demonstrierten Verran und Leahy-Gilmartin (1996) anhand mikroskopischer Bilder, dass nach mechanisch unterstützter Keimgewinnung durch aufeinanderfolgendes Schütteln, Ultraschall

und Vortexen den Filamenten der Bürste keine Mikroorganismen mehr anhaften. Sie erwähnen, dass insbesondere die Kombination mechanisch unterstützter Auswaschmethoden die höchste Keimgewinnung verspricht und nennen Zahlen von 0 bis 10^8 Mikroorganismen pro Bürste, ohne jedoch das Verfahren zu deren Berechnung anzugeben. Vorstellbar ist, dass die auf den Nährböden gezählten KBE auf das Flüssigkeitsvolumen bezogen werden, in dem der Bürstenkopf ausgewaschen wurde, wie in den Arbeiten verschiedener Arbeitsgruppen gehandhabt (Nies et al. 2008, Malmberg et al. 1994, Spolidorio et al. 2003). Weitere Autoren geben die Anzahl der Bakterien pro Bürste an, erläutern jedoch auch nicht, wie die entsprechenden Werte kalkuliert wurden (Quirynen et al. 2003, Svanberg 1978). Die in der vorliegenden Untersuchung beschriebene Methode (siehe Kapitel 3.8) wurde gewählt, da sie am ehesten der tatsächlich gewonnenen Keimmenge pro Bürstenkopf zu entsprechen scheint. Rechnete man anhand der ermittelten Keimzahl des ausplattierten Flüssigkeitsvolumens von 20µl direkt auf die Auswaschsuspension von 10ml um, würde die durch das Zentrifugieren erreichte Keimkonzentration (Pellet) vernachlässigt werden. Der keimarme Überstand (800µl) wurde jedoch verworfen und nur mit dem resuspendierten Pellet in 200µl der daraufhin konzentrierteren Suspension weitergearbeitet, so dass angenommen werden konnte, dass in 20µl Suspension 1/10 der Keimmenge aus 1ml der nach dem Auswaschen erhaltenen Lösung enthalten war.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Besiedlung der Bürstenköpfe mit *S. mutans*

Eine Kolonisierung des Zahnbürstenkopfes mit *Streptokokkus mutans* konnte bei 84% der untersuchten Zahnbürsten festgestellt werden. Die größte Varianz zeigte sich dabei zwischen den Teilnehmern mit MB unter Nutzung der elmex® Zahnbürste (96% der Bürsten besiedelt) und Probanden ohne kieferorthopädische Apparatur, welche die meridol® Zahnbürste gebrauchten (70% Besiedlung). Es stellte sich heraus, dass das Borstendesign keinen Einfluss auf die retinierte Keimmenge hatte. Somit konnte die Nullhypothese „kein Unterschied zwischen den beiden untersuchten Zahnbürsten hinsichtlich der bakteriellen Kontamination“ anhand der Analyse des Hauptzielparameters bestätigt werden.

Hingegen zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der isolierten Keimmenge zwischen Zahnbürsten von Probanden mit, gegenüber denen ohne MB-Apparatur. Dabei waren die medianen Keimzahlwerte der beiden Bürsten vergleichbar: Bei Teilnehmern ohne MB konnten 200 (meridol®) bzw. 300 KBE (elmex®) gewonnen werden, mit MB

wiesen beide Bürsten jeweils 700 KBE auf. Vergleich man hingegen die *Mittelwerte* der Keimzahlen, wurde eine größere Differenz zwischen den von MB-Patienten angewendeten Bürstentypen ersichtlich: Durchschnittlich konnten 2322 KBE von elmex[®], jedoch nur 1015 KBE von meridol[®] Bürstenköpfen isoliert werden. Bei Teilnehmern ohne MB waren dies im Mittel 400 (elmex[®]) bzw. 435 KBE (meridol[®]). Der große Unterschied zwischen *mittleren* und *medianen* Werten spiegelt die ungleiche Verteilung der Keimzahlen wider. Vereinzelte sehr hohe Werte bedingten den Anstieg der *Mittelwerte*. Da die Keimzahlen keine symmetrische Verteilung zeigten, wurden zur statistischen Auswertung nichtparametrische Methoden angewandt. Prinzipiell sind deshalb für die vorliegende Untersuchung die *medianen* Werte zur Interpretation geeignet, jedoch wurde der *Mittelwert* zur vereinfachten Gegenüberstellung mit Daten aus vorangegangenen Studien ebenfalls erhoben.

Ein Vergleich der Keimzahlen mit Werten aus der Literatur ist allerdings aufgrund der vielfältigen Methodik und Konzipierung verschiedener Untersuchungen schwierig. So erlaubt alleine die Nutzung unterschiedlicher Nährböden, insbesondere für den Nachweis von *S. mutans*, nur eine eingeschränkte Gegenüberstellung der Resultate (Hildebrandt und Bretz 2006). Bislang wurden sämtliche mikrobiologischen Untersuchungen an Zahnbürsten in vitro oder in vivo an Probanden ohne Multibracketapparatur durchgeführt, so dass insbesondere die Keimzahlen der Teilnehmer ohne MB-Apparatur gegenübergestellt werden können.

Nur zwei Autoren geben die KBE von *S. mutans* auf den Bürstenkopf bezogen an. Kozai et al. (1989) konnten bei Kindern unmittelbar nach einmaligem Gebrauch neuer Zahnbürsten $4,47 \cdot 10^4$ KBE/Bürste auf MSB-Agar nachweisen, nach sechsstündiger Trocknungsdauer noch $2,55 \cdot 10^4$, wobei zum Putzen keine Zahnpasta genutzt wurde. Bei Quirynen et al. (2001) zeigten sich nach der einmaligen Anwendung neuer Zahnbürsten ohne Zahnpasta bei Patienten mit Parodontalerkrankungen etwa $2 \cdot 10^6$ KBE/Bürste. Durch den Einsatz von Zahnpasta konnte die Zahl auf durchschnittlich $1,8 \cdot 10^3$ Keime reduziert werden, eine Größenordnung, die mit der mittleren Keimzahl in der vorliegenden Studie übereinstimmt. In einer weiteren Veröffentlichung betrachteten Quirynen et al. (2003) die Wirkung verschiedener Zahnpasten detaillierter und konnten erneut bestätigen, dass der Gebrauch von Zahnpasta der Kontamination der Bürstenköpfe entgegenwirkt. So ließen sich nach dem Putzen ohne Zahnpasta $2,8 \cdot 10^6$ KBE, unter Gebrauch aminfluorid(AmF)haltiger Zahnpasta (vgl. elmex[®] Zahnpasta) 0 KBE und bei Anwendung einer Zahnpasta mit Amin- und Zinnfluorid(SnF₂) $3,2 \cdot 10^3$ KBE/Bürste nachweisen. Die Nutzung von Zahnpasta vermag durchaus die vergleichsweise niedrigen Keimzahlen unserer Untersuchung erklären. Vermutlich wären

bei Verzicht auf Zahnpasta deutlich höhere Keimzahlen festzustellen gewesen, gleichzeitig erschien uns regelmäßiges Zähneputzen ohne Zahnpasta zur Unterstützung der mechanischen Belagsentfernung nicht der Realität entsprechend und ethisch nicht vertretbar. Um die klinische Situation, auch für die Teilnehmer, wirklichkeitsgetreu zu gestalten, war daher der Gebrauch der für alle Probanden gleichen Zahnpasta obligat. Einerseits wird der antibakterielle Effekt den in den meisten Zahnpasten enthaltenen Fluoriden zugeschrieben, welche den Bakterienstoffwechsel beeinträchtigen, indem sie unter anderem Enzyme der Glykolyse hemmen. Dabei scheint die Wirkung sowohl von der Konzentration als auch von der Art des zugesetzten Fluorids abhängig. Während Natriumfluorid auch in hoher Konzentration nur bakteriostatisch wirkt und somit in Zahnpasten eine geringe mikrobielle Wirkung zeigt, können Aminfluoride bereits in niedriger Konzentration eine bakterizide Aktivität entfalten (Benthin et al. 1994). Dies konnten Quirynen et al. (2003) bestätigen, welche die Kombination AmF/SnF_2 als am effektivsten bei der Eliminierung diverser Keime identifizierten. Andererseits wird Tensiden (z.B. Natriumlaurylsulfat, oftmals als 1-2%iger Zusatz in Zahnpasten) ein viel stärkerer antimikrobieller Effekt zugeschrieben als den Fluoriden. Sie wirken gleichzeitig durch Zerstörung der Bakterienmembran, Denaturierung von Proteinen und Reduktion der Oberflächenspannung (Benthin et al. 1994, Quirynen et al. 2003). Auch Efstratiou et al. (2007) und Nelson-Filho et al. (2004) berichten über die keimreduzierende Wirkung von Zahnpasten, wobei die Effizienz von deren Zusammensetzung beeinflusst wird. Erstgenannter stuft den antibakteriellen Effekt von Zahnpasta im Vergleich zur natürlichen Keimreduktion während der Trocknung der Bürstenköpfe als überlegen ein.

Dass durch Trocknung der Zahnbürste, wie es meistens in den putzfreien Intervallen, z. B. zwischen dem morgendlichen und abendlichen Zähneputzen, der Fall ist, eine deutliche Keimreduktion erreicht werden kann, wird häufig beschrieben (Warren et al. 2001, Goldsmith et al. 2007, Svanberg 1978). Dabei wird im gleichen Zuge von der etwaigen Verwendung von Schutzkappen für Zahnbürsten abgeraten (Mehta et al. 2007, Dayoub et al. 1977). Beispielsweise konnten Wetzel et al. (2005) unmittelbar nach Gebrauch einer Zahnbürste 3070 KBE *S. mutans* pro ml Keimsuspension ermitteln, während nach 8 Stunden nur noch 171 KBE nachweisbar waren. Das Ausmaß der Dezimierung der Mikroorganismen ist allerdings unterschiedlich: Nach achtstündiger Trocknung konnten Spolidorio et al. (2003) kein *S. mutans* mehr auf Bürstenköpfen nachweisen, wohingegen Svanberg (1978) die gleichen Keime noch nach 24 Stunden in der Größenordnung 10^4 entdeckte. Gleichmäßige Trocknungsintervalle waren in der vorliegenden Untersuchung nicht zu erzielen, da die Nutzung der Bürsten im häusli-

chen Umfeld zu individuellen Uhrzeiten erfolgte. Um einen einheitlichen Transport ohne weitere Kontaminierung der Bürstenköpfe nach dem letztmaligen Putzen zu gewährleisten, wurde ein Ziploc®-Beutel ausgehändigt. Gleichzeitig sollte durch den Transport in der „feuchten Kammer“ gezielt die Keimreduktion durch Trocknung verhindert werden, damit alle vorhandenen Keime weitestgehend erhalten blieben. Folglich konnte von einer analogen Ausgangssituation aller Bürsten vor der mikrobiologischen Analyse ausgegangen werden. Betrachtet man alleine den Einfluss der Trocknung beider Zahnbürsten, ist es möglich, dass die meridol® Zahnbürste aufgrund der vielen dünnen Filamente in dichter Anordnung eine längere Trocknungszeit benötigt als die elmex® Zahnbürste. Die ausgedehnte Trocknungsdauer könnte sich zwar mikrobiologisch als nachteilig erweisen, falls die elmex® Bürste schneller trocknet, jedoch konnte dies im Rahmen dieser Studie nicht bestätigt werden, zumal in der Gruppe MBe der höchste Anteil besiedelter Bürsten zu finden war.

Neben der Trocknung hat das Ausspülen des Bürstenkopfes nach dessen Gebrauch einen Einfluss auf die Stärke der Keimlast. So kann die Anzahl der Keime und Viren um mehr als die Hälfte reduziert werden, wenn der Bürstenkopf beim Auswaschen unter fließendem Leitungswasser mit den Fingern manipuliert wird (Kozai et al. 1989, Glass und Jensen 1988). Auch Glass (1992) erwähnt, dass die höchste Keimlast unmittelbar nach dem Putzen durch gründliches Ausspülen der Bürste bereits wirkungsvoll vermindert werden kann. Um auch diesbezüglich möglichst gleiche Voraussetzungen zu schaffen, wurden die Probanden der vorliegenden Untersuchung darauf hingewiesen, die Zahnbürste nach jedem Gebrauch für etwa fünf Sekunden mit klarem Wasser auszuwaschen. Dabei wurde bewusst nicht festgelegt, wie das Auswaschen zu erfolgen hatte (mit/ohne Finger). Ein möglicher Einfluss unterschiedlicher Methoden des Auswaschens sollte durch die Randomisierung der Teilnehmer kompensiert worden sein.

Einen interessanten Aspekt stellt der Nutzungsgrad der Bürsten dar. Die nach dem 14-tägigen Gebrauch zurückerhaltenen Zahnbürsten offenbarten ein stark unterschiedliches Aussehen der Bürstenköpfe. Das Spektrum umfasste Bürstenköpfe, deren Filamente bei Betrachtung mit dem bloßen Auge keinerlei Gebrauchsspuren aufwiesen, bis hin zu solchen, die nicht nur eine starke Verbiegung und Auffächerung der Borsten, sondern teilweise auch deutliche Verunreinigungen durch Putzrückstände bzw. Speise- und Zahnpastaresten zeigten. Ein stark interindividuelles Erscheinungsbild der Zahnbürsten wurde auch von Daly et al. (1996) sowie Hegde et al. (2005) beschrieben. Diesbezüglich lässt das Aussehen der Bürste nicht unbedingt Rückschlüsse auf die Dauer der Bürstennutzung zu, sondern hängt vielmehr von der persönlichen Putztech-

nik und der Beschaffenheit der Bürste ab. Zudem ist das Borstenfeld der Zahnbürste bei MB-Patienten aufgrund der intraoralen Attachments einer erhöhten Belastung ausgesetzt und zeigt daher per se vermehrte und schnellere Abnutzungserscheinungen (Koch et al. 2007). Ob mit steigendem Grad der Abnutzung die Fähigkeit einer Zahnbürste zur Plaqueentfernung negativ beeinflusst werden kann, wird in der Literatur diskutiert. Während manche Autoren der Ansicht sind, dass sowohl neue als auch gebrauchte Zahnbürsten eine adäquate Plaqueentfernung gewährleisten können (Hegde et al. 2005, Daly et al. 1996), betonen Kreifeldt et al. (1980), dass neue oder nur leicht gebrauchte Zahnbürsten eine deutlich effektivere Plaquereduktion erreichen als gebrauchte Bürsten. Auch Koch et al. (2007) sehen in ihrem Review den Abnutzungsgrad von Zahnbürsten als eher untergeordnet ausschlaggebend für eine effektive Plaquekontrolle, kommen jedoch aufgrund fehlender Evidenz in der Literatur sowie stark individueller Faktoren bei der Nutzung von Zahnbürsten schließlich mit der Empfehlung der ADA (American Dental Association, 2005) überein, die einen Wechsel der Zahnbürste durchschnittlich alle drei Monate anrät.

Zwar wurde in unserer Analyse weder der Zustand der Zahnbürsten noch deren Reinigungsvermögen geprüft, aber es stellt sich die Frage, inwiefern der Abnutzungsgrad des Borstenfeldes mit dessen mikrobieller Kontamination korreliert. Bereits vor einiger Zeit wurde diskutiert, dass bei längerem Gebrauch einer Zahnbürste die Keimzahlen deutlich ansteigen können, was nach vierwöchiger Nutzungsdauer eine circa 10-fach erhöhte Keimzahl gegenüber einer einwöchigen Gebrauchsdauer zur Folge hat (Netuschil et al. 1981), der Zustand der Borsten wurde jedoch nicht berücksichtigt. Diese Ansicht wurde von Glass und Lare (1986) widerlegt, die keine Korrelation zwischen Nutzungsdauer und Keimbesiedlung feststellen konnten. Goldsmith et al. (2007) kamen in einer in-vitro-Studie zu dem fast überraschenden Resultat, dass neuere Zahnbürsten höhere Keimzahlen (*S. mutans*) aufweisen als gebrauchte mit aufgefächerten Borsten. Die Erklärung dazu sahen sie in der Tatsache, dass die Filamente neuer Zahnbürsten in enger räumlicher Anordnung stehen und die Adhärenz von Mikroorganismen begünstigen, wohingegen verbogene und deformierte Filamente einen größeren Abstand zueinander haben, was die Retention von Plaque erschwert und gleichzeitig eine bessere Belüftung und Trocknung ermöglicht. Eine entsprechende Beobachtung wurde 2005 von Wetzal et al. gemacht, die verschiedene Besteckungsvarianten hinsichtlich des mikrobiellen Profils verglichen und zeigten, dass die (übliche) Bündelung der Zahnbürsten-Filamente („multi-tufted“) das Risiko der bakteriellen Adhärenz erhöht. Eine von ihnen untersuchte Bürste mit Einzelfilamentbesteckung erwies sich diesbezüglich als deutlich überlegen, wobei eine derartige Bürste nach unseren

Erkenntnissen bislang nicht auf dem Markt erhältlich ist. Bereits 1992 bemerkte Glass, dass eine bakterielle Retention erschwert wird, je weniger Borsten pro Büschel und je weniger Büschel pro Reihe und Bürstenkopf vorliegen. Obwohl also eine hohe Filamentzahl in dichter Anordnung - wie bei der meridol® Zahnbürste - die Retention von Bakterien begünstigt, konnten wir keine mikrobiologischen Nachteile der meridol® Zahnbürste erkennen. Im Gegenteil erwies sich die elmex® Zahnbürste bezüglich der mittleren Keimzahlen gegenüber der meridol® Bürste als unvorteilhafter. Dies scheint maßgeblich durch den Gebrauch von Zahnpasta bedingt zu sein. Da „multi-tufted“ Zahnbürsten mit vielen dünnen Borsten (meridol®) nicht nur verstärkt Keime, Feuchtigkeit und Speiserückstände, sondern auch Zahnpasta retinieren (Dyer et al. 2000), ist durch die prolongierte Wirkung der darin enthaltenen Tenside bzw. Fluoride ein antimikrobieller Effekt zwischen den Borsten wahrscheinlich und scheint somit die Unterschiede zwischen den beiden Bürsten zu nivellieren.

Nies et al. (2008) erkannten, dass die Art der Borstenverankerung im Kunststoffkopf der Zahnbürste das mikrobielle Profil einer Zahnbürste nicht beeinflusst. Beim häufig angewandten Prinzip der Bündelstanzbesteckung, bei dem das mittig geknickte Borstenbüschel mit einem Metallplättchen im Kunststoff verkeilt wird, zeigt sich gegenüber der Bündeleinspritz- und Bündeleinfügebsteckung eine Hohlraum- und Spaltbildung an der Verankerungsstelle. Dies führt jedoch zu keinem mikrobiologischen Nachteil. Da sowohl die elmex® als auch die meridol® Zahnbürste mit dem Bündelstanzverfahren besteckt werden, lässt sich davon ohnehin kein Einfluss auf die isolierten KBE ableiten.

Denkbar ist, dass die Transluzenz des Basiskunststoffs einen Einfluss auf die Überlebensfähigkeit der Keime auf Zahnbürsten hat. Während die elmex® Zahnbürste aus farblosem transparenten Kunststoff gefertigt ist, ist die meridol® Zahnbürste weiß und undurchsichtig. Einen möglichen hygienischen Vorteil von Bürsten aus transparentem Kunststoff gegenüber opaken Fabrikaten nannten Spolidorio et al. (2003). Die inhibierende Wirkung von Licht auf die Proliferation der Keime war jedoch gering, so dass einerseits keine generelle Empfehlung für die Nutzung lichtdurchlässiger Zahnbürsten abgeleitet werden kann bzw. andererseits nicht anzunehmen ist, dass die Keimzahlen in der vorliegenden Untersuchung von der Transluzenz des Materials beeinflusst waren. Zudem war nicht davon auszugehen, dass die Zahnbürsten während ihrer Lagerung einer permanenten Lichtbestrahlung ausgesetzt waren, sondern vermutlich eher dunkler aufbewahrt wurden.

Zu bemerken ist, dass das Studiendesign keine Baseline-Erfassung der Keimzahlen im Speichel der Probanden vorsah. Gemäß Jordan und LeBlanc (2002) korrelieren Speichelproben mit Plaqueproben hinsichtlich Anzahl und Art der Mikroorganismen. Ver-

einzelnt beschreiben Autoren vor der Ermittlung bakterieller Belastung der Bürstenköpfe eine Erhebung der entsprechenden Keime im Speichel (Nelson-Filho et al. 2000, Nies et al. 2008). Dies scheint insofern sinnvoll, als von der Keimzahl im Speichel gegebenenfalls auf die zu erwartende Menge auf dem Bürstenkopf geschlossen werden kann. Sollte beispielsweise ein Proband keine oder nur eine geringe Zahl Bakterien einer Spezies aufweisen, verwundert es nicht, wenn von dem Bürstenkopf entsprechend keine/wenige KBE isoliert werden können. Ohne vorherige Erfassung der oralen Keimlast könnte eine niedrige Keimzahl fälschlicherweise dem Bürstendesign zugeschrieben und angenommen werden, dass die Bürste ein niedriges Potential besitzt, Keime zu retinieren. Im Nachhinein betrachtet hätte eine vorherige Untersuchung des Speichels mit dementsprechender Einteilung der Probanden nach deren Keimprofil womöglich eine homogenere Ausgangssituation in den untersuchten Gruppen zur Folge gehabt und das Ergebnis gegebenenfalls präzisiert. Gleichwohl ist fraglich, ob die Vorgehensweise das signifikante Ergebnis merklich beeinflusst hätte, da bedacht werden muss, dass durch das randomisierte Design per Zufall eine homogene Verteilung von Probanden mit unterschiedlich hohen Keimzahlen resultiert, welche eine Baseline-Erhebung daher nicht unbedingt erforderlich macht.

Die stark erhöhte mikrobielle Belastung des Bürstenkopfes scheint die große Keimzahl intraoraler Mikroorganismen während der Behandlung mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen zu reflektieren. Wenige Wochen nach der Insertion einer MB-Apparatur steigen die Gesamtkeimzahlen in Speichel und Plaque der Patienten deutlich an, wobei sich die Flora zugunsten parodontalpathogener Spezies verschiebt. Dabei ist die parodontale und mikrobielle Situation nach Ende der MB-Behandlung reversibel und resultiert langfristig in keiner erhöhten Prävalenz von Parodontopathien (Diamanti-Kipioti et al. 1987, Ristic et al. 2007, Atack et al. 1996). Einen Anstieg des Plaque-Index nach Bebänderung um etwa 10% wird von Hägg et al. (2004) beschrieben. Dieser Wert erscheint angesichts der subjektiv wahrgenommenen klinischen Situation vergleichsweise gering. Die höchsten Keimzahlen treten nicht unmittelbar nach Beginn der festsitzenden Behandlung auf, sondern werden nach wenigen Wochen bis zu etwa drei Monaten erreicht (Ristic et al. 2007). Auf eine Differenzierung der Probanden mit MB-Apparatur bezüglich der Dauer ihrer bisherigen Behandlung wurde aus praktischen Gründen verzichtet. Überdies waren sämtliche Patienten in laufender Behandlung, was bedeutet, dass sich die Apparatur bereits mindestens sechs Wochen in situ befand (erster Termin nach Insertion der Apparatur) und daher eine subjektive und mikrobielle Anpassung schon erfolgt war. Während mehrere Autoren übereinstimmend eine erhöhte Anzahl von *S. mutans* verzeichneten (Chang et al. 1999, Diamanti-Kipioti

et al. 1987, Rosenbloom und Tinanoff 1991), konnten Kupietzky et al. (2005) anhand von Speichelproben keine deutliche Beeinflussung der Menge dieser Keimart im Rahmen einer neu begonnenen MB-Behandlung feststellen. Allerdings offenbarte die dortige Testgruppe mit MB bereits vor der Bebänderung einen niedrigeren Plaque-Index und dadurch vermutlich eine geringere initiale Besiedlung der Apparatur mit Streptokokken als die Kontrollgruppe ohne MB. Eine Bezifferung des Keimanstiegs um das 10- bis 1000fache von *S. mutans* nehmen Jordan und LeBlanc (2002) vor. Verglichen mit unseren Resultaten lässt sich eine signifikante Zunahme der Isolationsfrequenz von *S. mutans* auf den Bürstenköpfen bei Patienten mit MB bestätigen, dagegen kann eine dermaßen deutliche faktorielle Steigerung sowohl anhand der medianen als auch der mittleren Keimzahlen nicht verifiziert werden.

5.2.2 Besiedlung der Bürstenköpfe mit Laktobazillen

Eine Besiedlung mit Laktobazillen zeigte sich auf nur 5% der Bürstenköpfe. Alle vier Zahnbürsten stammten von Teilnehmern mit MB-Apparatur, welche die elmex® Zahnbürste verwendeten. Der niedrige Anteil der Bürsten mit Laktobazillen erlaubte keine statistische Auswertung. Das seltene Vorkommen dieser Bakteriengruppe in der dargestellten Untersuchung verwundert angesichts der Tatsache, dass während der kieferorthopädischen Behandlung mit MB-Apparaturen die intraoralen Zahlen der Laktobazillen stark ansteigen (Owen 1949, Kupietzky et al. 2005, Peros et al. 2011). Das Ausmaß der Proliferation kann sogar die Zunahme von Streptokokken der Mutans-Gruppe übersteigen (Chang et al. 1999), wobei die Anwesenheit von *S. mutans* das Wachstum der Laktobazillen unterstützt (Badet und Thebaud 2008). Der wesentliche Grund dafür ist insbesondere die mit Eingliederung einer MB-Apparatur unmittelbar zunehmende Zahl von Retentionsnischen an den Brackets und unterhalb des Bogens. Diese bieten für die Anhaftung von Plaque und Vermehrung der Laktobazillen ideale Bedingungen, sind jedoch gleichzeitig durch übliche Mundhygienemaßnahmen und die eingeschränkte Selbstreinigung (Zunge) nicht leicht zugänglich (Kupietzky et al. 2005). Auch Wetzel et al. (2005) konnten Laktobazillen nach *S. mutans* am zweithäufigsten von Bürstenköpfen isolieren, die einmalig von Probanden mit einer kleinen Menge Zahnpasta genutzt wurden. Bei der Arbeit von Nies et al. (2008) ließen sich bei allen 70 untersuchten Zahnbürsten nach zweiwöchiger Nutzungsdauer Laktobazillen nachweisen, jedoch stets in deutlich geringerer Anzahl als *S. mutans*. Da das Studiendesign und die mikrobiologische Methodik mit unserer Vorgehensweise quasi übereinstimmen, ist die hohe Isolationsfrequenz der Laktobazillen bei Nies et al. (2008) wahrscheinlich auf die Probanden zurückzuführen, welche ausnahmslos Kinder mit kariösen Gebissen waren. Weil Laktobazillen bevorzugt mit dem fortgeschrittenen kariösen Geschehen

(Dentinbeteiligung) in Verbindung gebracht werden (Badet und Thebaud 2008), mag dies ferner erklären, dass bei unseren Teilnehmern ohne Karies nur selten Laktobazillen auf den Bürstenköpfen anzutreffen waren.

5.2.3 Besiedlung der Bürstenköpfe mit *Candida*

Candida Spezies konnten von keinem der von uns untersuchten Bürstenköpfe isoliert werden. Zwar ist insbesondere *Candida albicans* mit Karies assoziiert, die bei unseren Teilnehmern nicht vorhanden war, allerdings steigt unabhängig davon im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung sowohl mit herausnehmbaren als auch mit fest-sitzenden Apparaturen die *Candida*-Isolationsfrequenz und -dichte (Addy et al. 1982). Diskutiert wird, ob auch die *Candida*-Prävalenz durch die Behandlung ansteigt. Hägg et al. (2004) konnten beobachten, dass etwa 20% der Patienten während einer MB-Behandlung zum *Candida*-Carrier wurden und identifizierten als Auslöser dafür, wie mehrere andere Autoren auch, die Spezies *C. albicans*. Während in der Bevölkerung die *Candida*-Prävalenz sehr variabel zwischen 25 und 75% angegeben wird, halten Hibino et al. (2009) in ihrem Review eine Infektion vormaliger Nicht-Träger mit *Candida* während der aktiven kieferorthopädischen Therapie durch einen noch nicht exakt geklärten Vorgang für möglich. Diesbezüglich betonen sie gleichwohl den komplexen Zusammenhang zwischen Apparatur, Virulenzfaktoren des Pilzes und individuellen Wirtsfaktoren. Letztere werden durch kieferorthopädische Apparaturen alterniert, wobei gesunde Patienten zwar eine Infektion mit *C. albicans* aufweisen können, aber keine Candidiasis entwickeln. Ferner weisen sie auf die stark unterschiedlichen Ergebnisse bei der Anwendung verschiedener Kultur-Methoden hin. Die intraorale Verteilung von *Candida* ist ungleichmäßig, jedoch auf dem Zungenrücken bei Patienten mit und ohne MB am höchsten (Addy et al. 1982). Bedenkt man, dass wahrscheinlich nicht alle Teilnehmer *Candida*-Carrier waren, der Zungenrücken nicht explizit mit der Zahnbürste gereinigt wurde, überdies Zahnpasta verwendet und die Suspension der ausgewaschenen Bürstenköpfe inkubiert wurde, überrascht es nicht, dass in der vorliegenden Untersuchung keine *Candida* Spezies anzutreffen waren. Allerdings konnten Nies et al. (2008) mit gleicher Methode *Candida albicans* von Zahnbürsten an Karies erkrankter Kinder isolieren und auch Noga et al. (1976) konnten an knapp der Hälfte von Marine-soldaten gebrauchter Zahnbürsten *Candida* identifizieren. Verran und Leahy-Gilmartin (1996) hingegen konnten ebenfalls wenige Hefepilze auf Bürstenköpfen vorfinden, allerdings ist die Interpretation eingeschränkt, da sie keine Angaben zu Herkunft und Nutzungsdauer der Bürsten machten. Nach 24 Stunden, bei mäßig belüfteter Lagerung, konnte hingegen in einer in vitro Untersuchung noch *Candida albicans* auf dem Bürstenkopf nachgewiesen werden, was Bunetel et al. (2000) auf das gute Koloni-

sierungsvermögen zurückführten, welches proportional zur exponierten Bürstenoberfläche sei.

5.2.4 Subjektive Empfindungen

Anhand der Analogskalen konnte kein Anhaltspunkt gefunden werden, dass durch die Art der verwendeten Zahnbürste oder die Behandlung mit einer MB-Apparatur das Schmerzempfinden während des Zähneputzens beeinflusst wird. Das Auftreten einer Blutung konnte hingegen mit der Anwesenheit einer festsitzenden Apparatur in Zusammenhang gebracht werden, da Teilnehmer ohne MB merklich weniger Blutungsneigung berichteten. Das Design der Bürste schien für das Ausmaß der Blutung ohne Bedeutung zu sein. Die individuell verspürte Reinigungseffektivität wurde ebenfalls nicht auffallend von einem bestimmten Zahnbürstentyp bzw. einer kieferorthopädischen Behandlung beeinflusst.

Die Diskussion verschiedener Zahnbürstenarten in der Literatur, auch bezogen auf die Anwendung während der MB-Behandlung, ist vielfältig und teils unübersichtlich. Häufig werden elektrische mit manuellen Zahnbürsten verglichen, wobei die Reinigungseffektivität (Plaquantfernung) elektrischer Zahnbürsten zusammenfassend nicht als überlegen bewertet werden kann (Thienpont et al. 2001, Trimpeneers et al. 1997), jedoch ist es möglich, dass sie eine verbesserte interdentale Reinigung mit Reduzierung der dortigen Blutung bewirken (Clerehugh et al. 1998, Hickman et al. 2002). Die verstärkte Blutung bei Probanden mit MB während des Zähneputzens stimmt mit dem klinischen Erscheinungsbild überein: Bei der Behandlung erhöht sich reversibel mit der Plaque-menge auch die gingivale Sondierungstiefe und Blutungsneigung (Atack et al. 1996, Ristic et al. 2007). Wenngleich mit der Bebänderung die Speichelflussrate und der intraorale pH-Wert ansteigen und daher günstig auf die nachteilig veränderte mikrobiologische Situation und das Kariesrisiko wirken, lässt sich oftmals trotz adäquater Mundhygiene eine Gingivitis im Rahmen einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung kaum vermeiden (Chang et al. 1999, Naranjo et al. 2006). Führt man sich vor Augen, dass nach einer Dysgnathiekorrektur mittels MB-Apparatur gut 60% der Patienten neue und/oder vergrößerte kariöse (Initial)Läsionen aufweisen (Pancherz und Mühlich 1997, Enaia et al. 2011), welche bereits innerhalb von vier Wochen sichtbar sein können (Arneberg et al. 1984), wird der Stellenwert einer konstant guten Mundhygiene kieferorthopädischer Patienten ersichtlich. Die kritischsten Stellen der Plaqueakkumulation während der MB-Behandlung sind insbesondere der vergleichsweise raue Kompositüberschuss, welcher häufig zirkulär bei der Positionierung des Brackets auf dem Zahn entsteht, sowie die unmittelbar angrenzende Zahnoberfläche. Auch unterhalb der

Bracketflügel, vor allem in Richtung Gingivalrand und an den Ligaturen, mit denen der Drahtbogen am Bracket fixiert wird, kann vermehrt Plaque haften (Sukontapatipark et al. 2001). Sämtliche Stellen sind nur durch erhöhten Aufwand beim Zähneputzen erreichbar, da die Borsten der Bürste, u. a. durch den veränderten Bewegungsraum des Bürstenkopfes, oft keinen direkten Zugang zu den untersichgehenden Stellen haben, sondern durch entsprechende Bewegung der Bürste oder Flexibilität der Filamente dorthin gelangen müssen. Obwohl die Probanden keinen großen Unterschied bei der Reinigungseffektivität beider Bürsten schilderten, wird die meridol® Zahnbürste in der Literatur häufig als bevorzugt beschrieben. Dies stellten auch Sgan-Cohen und Vered (2005) beim Vergleich zwischen meridol® und einer ADA-Referenzzahnbürste (herkömmliches „multi-tufted“ Design mit zylindrischen endgerundeten Borsten und planem Borstenfeld) fest. Da die intraorale Wahrnehmung einer Bürste von deren Design und speziell vom Festigkeitsgrad (bestimmt durch Länge und Durchmesser) der Filamente beeinflusst wird (Golding 1982(b)), könnte die meridol® Zahnbürste aufgrund der dünnen Filamente ein weicheres und angenehmeres Gefühl beim Putzen vermitteln als die elmex® Zahnbürste. Auch Saxer et al. (2007) und Versteeg et al. (2008) konstatierten anhand einer Erhebung mittels Fragebögen die Bevorzugung der meridol® gegenüber der ADA-Zahnbürste durch Dentalhygienikerinnen bzw. Probanden. Überdies werden Zahnbürsten mit konischen Borsten mit einem verbesserten interdentalen sowie gingivalen Reinigungsvermögen in Verbindung gebracht (Barnes et al. 2009, Dörfer et al. 2003), was auf die Flexibilität der Filamente zurückzuführen ist. Flexible (dünne) Filamente können, abhängig von der verwendeten Zahnpasta, zu einem verbesserten Reinigungsgefühl durch intensivere Abrasion beitragen (Wiegand et al. 2008). Diese paradox erscheinende Tatsache erklären Dyer et al. (2000) mit dem verstärkten Kontakt der Bürste bzw. Zahnpasta zur Zahnoberfläche durch das Umbiegen der Borsten einer weichen Bürste während des Putzens. Dies könnte bei MB-Patienten von Vorteil sein, bedarf allerdings einer objektiven Erhebung von Mundhygiene-Indizes, was im Rahmen unserer Untersuchung nicht beabsichtigt war. Demgegenüber scheint die meridol® Zahnbürste (insbesondere bei MB-Patienten) mit Erhöhung des Putzdrucks an Effektivität zu verlieren, da es durch das starke Umbiegen der Filamente „zu einer geringeren Wechselwirkung mit dem Zahnsegment kommt“ (Sander et al. 2005). In der gleichen in vitro Studie wird allerdings auch dargelegt, dass bei geringer Anpresskraft durch die Flexibilität der meridol® Filamente ein verbessertes Eindringen der Bürste in den Approximalraum ermöglicht wird. Deshalb kann durch den größeren Kontakt der Borsten mit der Zahnoberfläche unter diesen Bedingungen (wenig Kraft) bei Patienten mit MB eine verbesserte Reinigungsleistung erwartet werden.

5.2.5 REM Untersuchungen

Einen kleineren Teilaspekt der vorliegenden Untersuchung stellen die REM-Aufnahmen dar. Jeweils ein neuer sowie ein Bürstenkopf nach 14-tägiger Gebrauchsdauer der beiden Zahnbürstentypen wurden zufällig ausgewählt und mittels REM fotografiert. Bei einer etwa 30- bis 200fachen Vergrößerung konnten Borstenbüschel, Filamentenden und der Verankerungsbereich hinreichend exakt dargestellt werden. Zur Verdeutlichung der Borstenendabrundung wurde eine leicht schräge Ansicht gewählt, um das Profil der Borstenenden darstellen zu können, was bei einer reinen Aufsicht nicht möglich gewesen wäre.

Bei der unbenutzten elmex® Zahnbürste lassen sich die beiden Filamentarten - vormals orangefarbene schräg inserierte Filamente mit 0,175mm Durchmesser sowie die ursprünglich weißen Filamente mit 0,2mm Durchmesser - gut differenzieren. Es zeigt sich eine gleichmäßige Abrundung der Borstenenden, wobei die orangefarbenen Filamente eher konisch-elliptisch gefertigt sind, während die dickeren Filamente eine flachere Form, teils mit kleinem Plateau aufweisen. An den dünneren Filamenten lassen sich vermehrt kleine Kunststoffspäne als Rückstände im Zuge der Endabrundung erkennen. Die einzelnen Büschel sind kompakt im Basiskunststoff verankert. Im Insertionsbereich sind durch die Bündelstanzbesteckung herstellungsbedingte Spalten und Hohlräume sichtbar. Der Verankerungsbereich der ungebrauchten meridol® Zahnbürste stellt sich entsprechend dar, die größere Borstenanzahl pro Büschel im Vergleich zur elmex® Zahnbürste ist feststellbar. Die Filamentenden der meridol® Zahnbürste weisen keine Abrundung auf, sondern sind spitz konisch zulaufend. Vereinzelt haften auch hier kleine herstellungsbedingte Kunststoffflocken als Überreste an den partiell umgebogenen oder abgeknickten Borstenspitzen.

Die Morphologie der benutzten Bürsten lässt weiterhin das dargestellte Produkt erkennen, jedoch ist die optische Veränderung anschaulich: Die elmex® Zahnbürste imponiert bereits makrofotografisch durch die Auffächerung der Büschel, was sich anhand der REM-Aufnahmen noch verdeutlicht, da die Anordnung der Borsten nun mit zunehmendem Abstand von der Basis divergiert. Die Abrundung der zuvor weißen Filamente ist weiterhin recht gleichmäßig, wenngleich die ursprüngliche Form durch die mechanische Beanspruchung beim Putzen unter Gebrauch von Zahnpasta minimal verändert ist. Diese Beobachtung steht im Einklang mit denen von Bienengräber et al. (1995), die nach zweimonatiger Nutzung feststellten, dass die Abrundung der Borstenenden fortschreitet, der ursprüngliche Abrundungstyp jedoch weitestgehend erhalten bleibt. Eine stärkere Abnutzung ist bei den dünneren Filamenten sichtbar, wobei die konisch-elliptische Form noch sichtbar ist, sich jedoch, insbesondere an den Randbereichen

des Büschels, auch Veränderungen im Sinne einer einseitigen dachartigen Abschrägung erkennen lassen. Auch bei der meridol[®] Zahnbürste sind die Büschel nicht mehr als kompakt zu bezeichnen, sondern zeigen eine merkliche Auffächerung. Sämtliche Borstenspitzen sind nunmehr umbogen und differieren optisch von der ursprünglichen Morphologie. Bei beiden Bürsten lassen sich im Verankerungsbereich der Büschel Verunreinigungen (durch Zahnpasta-, Speisereste oder Plaque) erkennen, die bereits makroskopisch sichtbar waren. Diese sind jedoch nicht gleichmäßig verteilt, sondern haften zwischen den Büscheln teilweise auf der Kunststoffbasis, wohingegen die Spalten und Hohlräume an der Büschelbasis häufig sauber erscheinen. Das Besteckungsareal der beiden fotografisch untersuchten Bürstentypen imponiert generell weniger verunreinigt, als nach einem zweiwöchigen Gebrauch vielleicht subjektiv zu erwarten gewesen wäre. Allerdings muss beachtet werden, dass die REM-Bilder erst nach der Keimisolierung angefertigt wurden. Daher ist es nicht unwahrscheinlich, dass größere Schmutzpartikel im Rahmen des Auswaschens mittels Ultraschall zuvor abgelöst wurden.

Obwohl die beiden Bürsten gleich lange verwendet wurden, erscheint die elmex[®] Zahnbürste im Vergleich zur meridol[®] Bürste durch die Auffächerung der Büschel makroskopisch merklich stärker abgenutzt. Mikroskopisch sind auch bei der meridol[®] Zahnbürste intensive Nutzungsspuren präsent. Beide Bürsten wurden zufällig und unwillkürlich nach erfolgter Keimisolierung ausgewählt, wobei die Bürsten nach der zweiwöchigen Versuchsdauer generell erhebliche interindividuelle Unterschiede im Erscheinungsbild offenbarten und somit von beiden Zahnbürsten Exemplare zurückerhalten wurden, welche von sehr starker bis sehr geringer Abnutzungserscheinung variierten. Da die Bürsten verblindet ausgewertet wurden, ist unklar, ob die fotografischen Untersuchungen an Bürsten von MB- oder non-MB-Probanden vorgenommen wurden bzw. ob sie zuvor einer erhöhten mechanischen Beanspruchung durch festsitzende Apparaturen unterlagen.

Betrachtet man die Borstenspitzen, fällt auf, dass lediglich die elmex[®] Zahnbürste die allgemeine und bereits lange bestehende Forderung nach abgerundeten Borstenenden erfüllt (Hartlmaier 1954, Gülzow 1972, Golding 1982(b), Müller et al. 1992). Nichtgerundete Filamente können Verletzungen der Mundschleimhaut, gingivale Abrasionen und zumindest teilweise Rezessionen begünstigen (Silverstone und Featherstone 1988, Danser et al. 1998), wobei etwa 30% stärkere Gingivalabrasionen beim Gebrauch von Zahnbürsten mit scharfkantigen Borsten im Vergleich zu Bürsten mit gerundeten Filamenten verzeichnet werden (Breitenmoser et al. 1979). Diesbezüglich wäre davon auszugehen, dass die meridol[®] Zahnbürste aufgrund des spitzen Borsten-

designs ein größeres Potential für Schädigungen der Gingiva bietet als die elmex® Zahnbürste. In einer vierwöchigen Untersuchung an 35 Probanden konnten Versteeg et al. (2008) dies widerlegen: Im Vergleich zu einer Referenzzahnbürste mit gerundeten Borstenenden verursachte die meridol® Bürste eine geringere Traumatisierung der Gingiva. Anhand der REM-Bilder der benutzten meridol® Zahnbürste ist dies nachvollziehbar, da sämtliche Borstenenden abgeknickt bzw. umgebogen sind. Somit scheinen sich die Filamente während des Putzvorgangs nicht nur flexibel elastisch umzubiegen (was, wie oben erwähnt, mit einem guten Reinigungsvermögen einhergehen kann), sondern auch plastisch zu verformen. Inwiefern die permanent abgewinkelten Borstenspitzen die Reinigungseffektivität der Bürste unvorteilhaft beeinflussen ist fraglich, zumindest ließen sich mit der meridol® Zahnbürste höhere Plaque- und Blutungsscores feststellen als bei einer Bürste mit konventionellen Borsten (Versteeg et al. 2008). Franchi und Checchi (1995) weisen darauf hin, dass durch eine zu hohe Temperatur während des Sputtervorgangs die Borstenmorphologie beeinflusst werden kann (abhängig von der Dauer und des Probenabstandes zur Kathode). So können Kunststoffborsten mit einer vormals ungünstigen Endabrundung nach dem Sputtern durch die Erwärmung eine zufriedenstellende Form aufweisen. Ob von einer solchen Verfälschung der Borstenform in der gegenwärtigen Untersuchung auszugehen ist, ist nur schwer beurteilbar, da keine Temperaturmessung innerhalb des Vakuum-Kompartiments während des Sputterns vorgenommen wurde. Gleichwohl sind, insbesondere bei der meridol® Zahnbürste, die feinen spitzen Borstenenden auch nach dem Sputtern noch gut erhalten, weswegen eine Verformung durch Erhitzung eher unwahrscheinlich ist.

Klassifizierungen der Borstenendabrundung bei Zahnbürsten hinsichtlich akzeptabler und nicht akzeptabler Morphologien werden in der Literatur häufig erwähnt (Golding 1982(b), Silverstone und Featherstone 1988, Reiter und Wetzel 1991). Auf der von Silverstone und Featherstone (1988) begründeten Einteilung basiert auch die Gliederung von Jung et al. (2003), welche drei akzeptable und sechs unakzeptable Formen der Borstenenden beschreiben. Nicht berücksichtigt waren dabei die stark konischen Filamente. In der folgenden Illustration (Abbildung 5.1) ist die Klassifizierung in modifizierter Form dargestellt. Dabei wurde die Darstellung von uns um die konische Filamentmorphologie erweitert (C1) sowie zwei vormals ähnliche und schwer differenzierbare Formen, wie von Jung et al. (2003) bereits vorgeschlagen, zusammengefasst (N2).

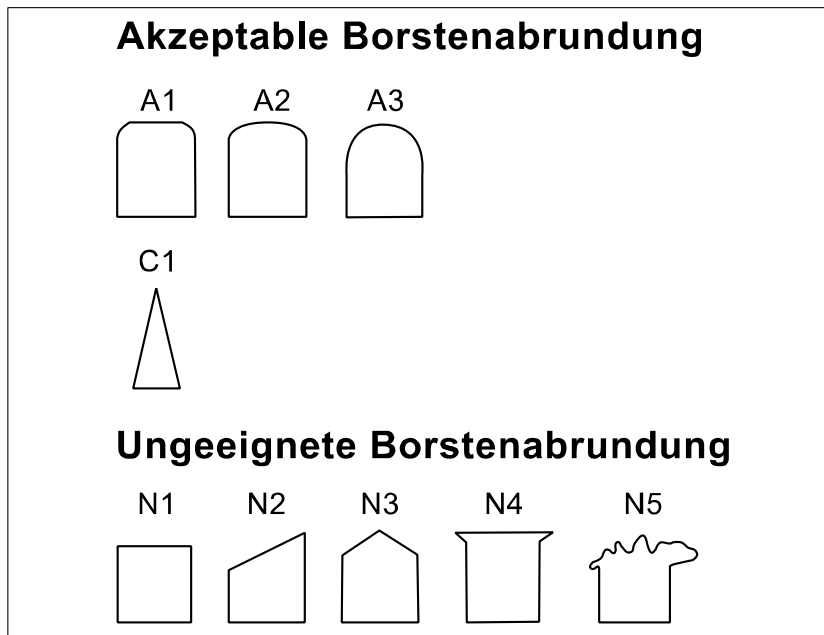


Abbildung 5.1: Klassifizierung der Borstenenden-Morphologie bei Handzahnbürsten modifiziert nach Jung et al. (2003)

Nutzt man diese Einteilung zur Charakterisierung der REM-Bilder in der vorliegenden Untersuchung, lässt sich feststellen, dass die Filamente der unbenutzten elmex[®] Zahnbürste sämtlich den Kategorien A1 bis A3 entsprechen, wobei im Zuge der Nutzung eine Veränderung der dünneren Filamente hin zu Typ N2 auffällt, jedoch keine scharfen Kanten ersichtlich sind. Die Borsten der unbenutzten meridol[®] Zahnbürste ließen sich mit der ergänzten Kategorie C1 beschreiben. Rein morphologisch wäre dieser Borstentyp durch die fehlende Endabrundung als ungeeignet einzustufen. Dabei bleibt zu vermerken, dass das Potential zur gingivalen Reizung der konisch dünnen Borstenmorphologie nicht erhöht zu sein scheint (Versteeg et al. 2008), was auch durch das subjektiv eher angenehm weiche Empfinden bei Benutzung der Bürste wiedergespiegelt wird. Daher wirkt eine Einstufung als „akzeptable“ Borstenmorphologie gerechtfertigt, wobei der konische Borstentyp mit der Klassifizierung C1 dennoch von den klassisch abgerundeten Filamenttypen A1 bis A3 differenziert wird. Generell ist in den vergangenen Jahren eine Verbesserung der Borstenqualität bei Handzahnbürsten erreicht worden: Während Silverstone und Featherstone (1988) bei 22-88% der Borsten von acht verschiedenen Zahnbürsten eine akzeptable Endabrundung feststellten, beschreiben Jung et al. (2003) eine zu mehr als 90% adäquate Morphologie bei 8 von 15 untersuchten Bürstenarten, weisen jedoch im gleichen Zuge auf große produktabhängige Unterschiede hin. Eine weiterhin optimalere Nutzung der technischen Möglichkeiten zur Borstenendbearbeitung scheint demnach wünschenswert. Zu beachten bleibt, dass in der dargestellten Untersuchung lediglich zwei Zahnbürstenköpfe und

dabei vor allem äußere Büschel mikroskopisch untersucht wurden, was die Interpretation und Vergleichbarkeit einschränkt.

5.2.6 Schlussfolgerung

Abschließend bleibt zu überdenken, inwiefern die Kontamination von Zahnbürsten eine hygienische und vor allem gesundheitliche Beeinträchtigung für die tägliche Mundpflege darstellt. So individuell wie die Nutzung ist auch die Keimbelastung der Bürsten. Es kann kaum davon ausgegangen werden, dass bei allgemein empfohlener Anwendung einer Zahnbürste - Nutzung durch eine Person, gründliches Ausspülen, Lufttrocknung und regelmäßiger Austausch - wie beispielsweise im Rahmen des ADA-Statements zur Zahnbürstenpflege (2005) definiert, das Risiko für lokale oder systemische Erkrankungen steigt. Insofern gibt es keinen Hinweis, der allein aufgrund einer Kontamination mit Keimen der Mundhöhle eine erhöhte Austauschfrequenz der Zahnbürste bei gesunden Personen rechtfertigt. Sind bei (chronisch) erkrankten oder immunsupprimierten Patienten Immunabwehr oder Hautbarriere eingeschränkt funktionsfähig, kann ein häufigerer Wechsel der Bürste sinnvoll sein.

Überdies sollten Möglichkeiten in Erwägung gezogen werden, die intraorale Keimmenge allgemein zu senken, so dass die Menge an potenziell retinierbaren Keimen niedrig ist. Beispielsweise kann die regelmäßige Anwendung antibakterieller Mundspüllösungen der Plaqueakkumulation deutlich vorbeugen. Dabei wirkt Chlorhexidin (CHX) generell besonders effektiv, zeigt allerdings Schwächen bei der Eliminierung von Laktobazillen (Brecx et al. 1990, Lundström und Krasse 1987, Sari und Birinci 2007). Überdies sind CHX-Lösungen aufgrund möglicher (reversibler) Zahnverfärbungen und Geschmacksbeeinträchtigungen nicht zur langfristigen Verwendung, insbesondere nicht bei Kindern und Jugendlichen, geeignet. Auch eine Beeinflussung oraler Keime durch die Auswahl der verwendeten Materialien einer Multibracketapparatur ist möglich. So unterscheidet sich zwar das mikrobiologische Profil an Metall-, Keramik- oder Kunststoffbrackets nicht auffallend (Anhoury et al. 2002, Papaioannou et al. 2007), aber eine Bogenbeschichtung mit Titandioxid zeigte in vitro einen hemmenden Effekt auf die Plaquebildung (Chun et al. 2007). Selbst der Genuss von bzw. die Spülung mit polyphenolhaltigen Getränken (z. B. schwarzer/grüner Tee, Traubensaft, Rotwein) reduziert die Adhärenz von Bakterien an der Zahnoberfläche (Hannig et al. 2009). Dabei können Zucker-, Alkohol- oder Farbstoffgehalt der Getränke wiederum anderweitig nachteilig wirken.

In der Literatur lassen sich keine eindeutigen Belege finden, die eine intra- oder inter-individuelle Reinfektion durch Keime der Zahnbürste bestätigen. Im Rahmen einer in

Schweden durchgeführten Untersuchung ließen sich rekurrente bakterielle Pharyngitiden nicht auf in der Zahnbürste verbliebene Keime zurückführen (Falck et al. 1998). Hinsichtlich kariesassoziierten Mikroorganismen ist ebenfalls kein Anzeichen bekannt, dass eine erhöhte Kariesprävalenz unmittelbar mit dem Keimvorkommen auf Bürstenköpfen zusammenhängt. Selbst eine hohe Keimzahl im Speichel muss durch die heutzutage verfügbaren Fluoridierungsmöglichkeiten nicht unabdingbar die Entstehung kariöser Läsionen bewirken (Burt und Pai 2001). Demnach sollte die Retention von Mikroorganismen generell als weniger bedrohlich aufgefasst werden, zumal sich die Kontamination der Zahnbürste durch die Anwendung in der Mundhöhle zwar nicht vermeiden, aber wirkungsvoll reduzieren lässt. Während das Bürstenkopfdesign durch eine verminderte Bündelung der Borsten vermutlich mikrobiologisch günstiger gestaltet werden könnte, lässt sich ferner auch eine Desinfektion des Bürstenkopfes durchführen. Dazu scheint der Einsatz von UV-Strahlung mittels speziell dafür entwickelter Geräte (Berger et al. 2008, Glass und Jensen 1994) ähnlich wirkungsvoll zu sein, wie die Verwendung eines Zahnbürsten-Desinfektionssprays auf Ethanolbasis (Neal und Rippin 2003) oder das Einlegen des Bürstenkopfes in handelsübliche Mundspüllösung (Caudry et al. 1995). Dabei besteht jedoch prinzipiell die Möglichkeit, dass sich die Borstenqualität ändert und die Filamente beispielsweise spröde und brüchig werden. Antiinfektive Borstenimprägnierungen mit Triclosan (Efstratiou et al. 2007), Chlorhexidin (Turner et al. 2009) oder einem Silber-Zink-Komplex (Quirynen et al. 2003) konnten bislang keine Effektivität beweisen. Mehta et al. (2007) konnten nach 12-stündiger Einwirkung einer 0,2%igen Chlorhexidin(CHX)-Lösung keine Keime mehr von den von ihnen analysierten Bürstenköpfen isolieren. Die Wirksamkeit von CHX unterstreichen auch Nelson-Filho et al. (2000), die eine regelmäßige Desinfektion der Zahnbürste als Alternative zu deren hochfrequenten Austausch ansehen. Ungeachtet einer etwaigen Desinfektion der Bürstenköpfe, bleibt jedoch die mechanische Abnutzung des Borstenfeldes (umgebogene Borsten und aufgefächerte Büschel), welche gemeinhin als begrenzender Faktor für die „Lebensdauer“ einer Zahnbürste angesehen wird.

Ob die Reduktion der Borstenzahl und/oder –dichte ohne Einschränkung der Putzeffizienz einer Zahnbürste vorgenommen werden kann, ist bislang nicht geklärt. Werden Filamente gebündelt, erhöht sich die Festigkeit einer Zahnbürste, da sie sich gegenseitig stabilisieren. Bei dünneren bzw. konischen Filamenten resultiert dies dennoch in einem „weichen“ Putzgefühl mit tendenziell geringeren Gingivalabrasionen (Versteeg et al. 2008), ohne dass das Borstendesign eine erhöhte Abnutzungstendenz durch Auffächerung des Borstenfeldes bewirkt (Ren et al. 2007). Dies konnte in unserer REM-Darstellung veranschaulicht werden: Zwar entsprechen die konischen Borsten auf den

ersten Blick nicht der als ideal angesehenen Form der Endabrundung, dennoch lassen sich keine Hinweise auf ein erhöhtes Potential zur Gingivaschädigung finden. Somit scheint es begründet, dieses vergleichsweise neue Filamentdesign auch als „akzeptabel“ einzustufen.

Anzunehmen ist, dass Patienten eine Zahnbürste, die ihnen ein angenehmes Putzgefühl vermittelt, lieber und intensiver benutzen, was insbesondere bei Jugendlichen während einer kieferorthopädischen Behandlung von Vorteil sein kann, weil eine regelmäßige Motivation zur Mundhygiene oftmals vonnöten ist. Da bei der meridol® Zahnbürste, anders als ursprünglich vermutet, keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur elmex® Zahnbürste in Bezug auf mikrobielle Kontamination und subjektives Reinigungsempfinden festgestellt werden konnten, scheint das konische Borstendesign bei MB-Patienten durchaus geeignet und kann sich bei diesen sogar tendenziell als mikrobiologisch vorteilhaft erweisen. Dennoch bleibt zu beachten, dass die Keimzahl auf Bürstenköpfen während der kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen per se stark ansteigt, was somit nach individuellen Gesichtspunkten die Empfehlung einer erhöhten Austauschfrequenz der Zahnbürsten durch den Behandler rechtfertigen kann. Des Weiteren werden zur optimalen Mundhygiene während der Therapie mit festsitzenden Apparaturen vielfach Interdentalbürsten zum zusätzlichen Gebrauch empfohlen, um die mit einer konventionellen Zahnbürste schwer zugänglichen Bereiche unter dem Bogen und rund um die Bracketbasis zu reinigen (Schätzle et al. 2009, Arici et al. 2007). Kieferorthopädische Patienten, die aber bereits mit einer „normalen“ Zahnbürste eine gute Mundhygiene erzielen, profitieren von einer zusätzlichen Nutzung von Interdentalbürsten weniger (Kossack und Jost-Brinkmann 2005). In einem Review zur Anwendung von Interdentalbürsten kommt Goh (2007) zu dem überraschenden Ergebnis, dass keine klinische Evidenz vorliegt, die den Einsatz von Interdentalbürsten während der kieferorthopädischen Behandlung mit MB rechtfertigt. Zweifelsohne stellt deren Gebrauch einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand dar, zumal die grazileren Bürstchen aufgrund ihrer begrenzten Widerstandsfähigkeit nur für wenige Gebrauchszyklen geeignet sind. Indessen erscheint es in der täglichen Praxis durchaus angebracht, den Patienten mehrere Optionen für die Etablierung einer optimalen Mundhygiene anbieten zu können. Gegenwärtig sind in der aktuellen Literatur Hinweise zu finden, dass die Anwendung von Interdentalbürsten sowohl im Zuge der MB-Therapie als auch bei Patienten ohne festsitzende Apparaturen den Plaque-Index deutlich zu reduzieren vermag (Slot et al. 2008, Bock et al. 2010).

6 Zusammenfassung

Zielsetzung dieser Arbeit war es, zwei Handzahnbürsten, die sich in ihrem Borstendesign unterscheiden (konisch vs. zylindrisch), hinsichtlich der Retention kariesassoziierter Mikroorganismen auf dem Bürstenkopf bei Probanden mit und ohne Multibracketapparat (MB) zu vergleichen. Als Nullhypothese wurde angenommen, dass kein mikrobiologischer Unterschied zwischen den beiden Zahnbürstentypen besteht.

Jeweils 50 Patienten mit MB und 50 Studenten ohne MB nahmen an der einfach-verblindeten klinischen Untersuchung teil. Nach schriftlichem Einverständnis fand die Randomisierung und Pseudonymisierung der Probanden statt, wobei eine Einteilung in vier Gruppen (MBe, MBm, nMBe, nMBm) die Unterscheidung der Teilnehmer bezüglich des Zahnbürstentyps und dem Vorliegen einer MB-Apparatur erlaubte. Es folgte eine 14-tägige Putzphase, in der die Teilnehmer die ihnen zugewiesene Zahnbürste (elmex® oder meridol®) mit einer einheitlich ausgehändigten Zahnpasta zweimal täglich, morgens und abends, für je drei Minuten zum regulären Zähneputzen verwendeten. Zur anschließenden Keimisolation wurden die Köpfe, der zuvor in verschlossenen Kunststoffbeuteln zurückerhaltenen Bürsten, in 10ml Sputasol-Lösung unter Ultraschalleinwirkung ausgewaschen. Nach dem Zentrifugieren von 1ml der Lösung wurden 800µl Überstand verworfen und die verbliebenen 200µl resuspendiert. Auf Selektivmedien wurden je 20µl der konzentrierten Keimsuspension zur Anzucht von *Streptokokkus mutans*, Laktobazillen und *Candida* ausplattiert. Im Anschluss an die dreitägige Inkubation wurden die koloniebildenden Einheiten (KBE) gezählt und auf die Keimmenge pro Bürstenkopf umgerechnet. Anhand eines Fragebogens äußerten sich die Probanden mittels visueller Analogskalen zu subjektiv empfundener Blutungsneigung, Reinigungsvermögen und Schmerzempfinden in Bezug auf die verwendete Zahnbürste.

Es stellte sich heraus, dass von 87 analysierten Bürstenköpfen 84% eine Kolonisation mit *S. mutans* aufwiesen; dabei bestand kein nennenswerter Unterschied zwischen den Zahnbürstenarten. Hingegen waren bei Teilnehmern mit MB-Apparatur, unabhängig vom Bürstentyp, signifikant höhere Keimzahlen zu verzeichnen. Die Besiedlung mit Laktobazillen konnte bei 5%, die Retention von *Candida* bei keiner der Zahnbürsten festgestellt werden. Probanden mit MB äußerten eine stärkere Blutungsneigung während des Zähneputzens als Probanden ohne MB, die jedoch nicht von einer bestimmten Bürste abhängig war. Schmerz- und Reinigungsempfinden konnten weder mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur noch mit einem Borstendesign in Verbin-

dung gebracht werden. Anhand rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen wurde die Morphologie zweier Bürstenköpfe sowohl im neuen als auch im gebrauchten Zustand dargestellt. Dabei bestätigte sich ein deutlicher Unterschied in der Borstenendbearbeitung. Insbesondere die konischen Filamente wiesen nach Gebrauch vermehrt Abknickungen der Borstenspitzen auf.

Als Fazit lässt sich feststellen, dass Patienten während der Behandlung mit Multibracketapparaturen eine deutlich höhere mikrobielle Kontamination der Zahnbürstenköpfe mit *S. mutans* zeigen als Probanden ohne Apparatur. Die Form der Filamente scheint damit nicht in Zusammenhang zu stehen. Abhängig von der individuellen Situation kann daher ein häufigerer Austausch der Zahnbürste im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie ratsam erscheinen.

7 Summary

The purpose of this trial was to compare two manual toothbrushes, cylindrical vs. tapered bristle design, used by subjects with and without multibracket appliances (MB) regarding the retention of caries-associated microorganisms on the brush head. The null hypothesis was that there were no microbiological differences between the two brushes.

50 subjects with MB and 50 without MB participated in this randomized single-blind clinical study. After written informed consent, subjects were randomly allocated to one of two toothbrush types. In the following test phase, subjects had to use their toothbrush (elmex® or meridol®) twice a day, in the morning and evening, for a period of 14 days. Afterwards, brushes were collected in sealed polythene bags and washed in 10ml Sputasol solution, facilitated by ultrasound, for subsequent germ isolation. Following centrifugation of 1ml solution, 800µl supernatant were discarded and the remaining 200µl were resuspended. For the detection of *Streptococcus mutans*, lactobacilli and *Candida*, 20µl were plated on each selective media. After three days of incubation the colony forming units (CFU) were counted. By means of a questionnaire with visual analogue scales, participants commented on their perception concerning bleeding tendency, subjective cleaning efficacy and pain upon using the toothbrush.

84% of the 87 analyzed brush heads showed colonization with *S. mutans*, but no difference between the two bristle designs was found. However, subjects with MB had significantly higher bacterial counts, independent of brush type, than subjects without MB. A growth of lactobacilli was observed in 5% of the brushes, but only in subjects with fixed appliances. No *Candida* could be found. Participants with fixed appliances expressed an increased bleeding tendency, which didn't seem to be correlated to a certain toothbrush. Pain and cleaning efficacy could neither be related to orthodontic appliances nor to a bristle design. The morphology of two bristle heads in new and used condition was depicted by means of scanning electron microscopy. Thereby a distinct difference in bristle end rounding became apparent, whereas particularly conical filaments exhibited an increased deflection of bristle ends after use.

Concluding, it can be said that MB patients' toothbrushes reveal an increased contamination with *S. mutans* compared to those of subjects without MB. The shape of the filaments of the brush, however, seems to be unrelated to microbial contamination. With regard to the individual situation, a more frequent replacement of toothbrushes during orthodontic therapy with fixed appliances might be advisable.

8 Literaturverzeichnis

Aas JA, Paster BJ, Stokes LN, Olsen I, Dewhirst FE. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. *J Clin Microbiol* 2005;43:5721-5732.

Aas JA, Griffen AL, Dardis SR, Lee AM, Olsen I, Dewhirst FE, Leys EJ, Paster BJ. Bacteria of dental caries in primary and permanent teeth in children and young adults. *J Clin Microbiol* 2008;46:1407-1417.

ADA (American Dental Association). Statement on Toothbrush Care: Cleaning, Storage and Replacement. 2005; <http://www.ada.org/1887.aspx>.

Addy M, Shaw WC, Hansford P, Hopkins M. The effect of orthodontic appliances on the distribution of *Candida* and plaque in adolescents. *Br J Orthod* 1982;9:158-163.

Alaluusua S, Renkonen OV. Streptococcus mutans establishment and dental caries experience in children from 2 to 4 years old. *Scand J Dent Res* 1983;91:453-457.

Anders PL, Davis EL. Oral health of patients with intellectual disabilities: a systematic review. *Spec Care Dentist* 2010;30:110-117.

Anhoury P, Nathanson D, Hughes CV, Socransky S, Feres M, Chou LL. Microbial profile on metallic and ceramic bracket materials. *Angle Orthod* 2002;72:338-343.

Arendorf TM, Walker DM. The prevalence and intra-oral distribution of *Candida albicans* in man. *Arch Oral Biol* 1980;25:1-10.

Arici S, Alkan A, Arici N. Comparison of different toothbrushing protocols in poor-toothbrushing orthodontic patients. *Eur J Orthod* 2007;29:488-492.

Arneberg P, Ögaard B, Scheie AA, Rølla G. Selection of Streptococcus mutans and lactobacilli in an intra-oral human caries model. *J Dent Res* 1984;63:1197-1200.

Arslan SG, Akpolat N, Kama JD, Özer T, Hamamci O. One-year follow-up of the effect of fixed orthodontic treatment on colonization by oral *Candida*. *J Oral Pathol Med* 2008;37:26-29.

Atack NE, Sandy JR, Addy M. Periodontal and microbiological changes associated with the placement of orthodontic appliances. A review. *J Periodontol* 1996;67:78-85.

Badet C, Thebaud NB. Ecology of lactobacilli in the oral cavity: a review of literature. *Open Microbiol J* 2008;2:38-48.

Baglie S, Del Ruenis AP, Motta RH, Baglie RC, Franco GC, Franco LM, Rosalen PL, Silva P, Groppo FC. Plasma and salivary amoxicillin concentrations and effect against oral microorganisms. *Int J Clin Pharmacol Ther* 2007;45:556-562.

Barnes CM, Covey DA, Shi X, Yankell SL. Laboratory evaluations of a bi-level, extremely tapered bristled toothbrush and a conventional uniform bristled toothbrush. *Am J Dent* 2009;22:84-88.

Becker A, Shapira J, Chaushu S. Orthodontic treatment for disabled children – a survey of patient and appliance management. *J Orthod* 2001;28:39-44.

Benthin K, Gerckens B, Krüger W. Vergleichende Untersuchung zur antimikrobiellen Wirksamkeit von Zahnpasten und Zahnpastenbestandteilen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:409-411.

Berger JR, Drukartz MJ, Tenenbaum MD. The efficacy of two UV toothbrush sanitization devices. A pilot study. *N Y State Dent J* 2008;74:50-52.

Bienengräber V, Sponholz H, Hagin J. Abrundungs- und Besteckungsqualität der Borsten fabrikneuer und benutzter Erwachsenenzahnbürsten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:517-524.

Bock NC, von Bremen J, Kraft M, Ruf S. Plaque control effectiveness and handling of interdental brushes during multibracket treatment – a randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 2010;32:408-413.

Boyd RL, Rose CM. Effect of rotary electric toothbrush versus manual toothbrush on decalcification during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;105:450-456.

Brecx M, Netuschil L, Reichert B, Schreil G. Efficacy of Listerine®, Meridol® and chlorhexidine mouthrinses on plaque, gingivitis and plaque bacteria vitality. *J Clin Periodontol* 1990;17:292-297.

Breitenmoser J, Mörmann W, Mühlemann HR. Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *J Periodontol* 1979;50:212-216.

Bunetel L, Tricot-Doleux S, Agnani G, Bonnaure-Mallet M. In vitro evaluation of the retention of three species of pathogenic microorganisms by three different types of toothbrush. *Oral Microbiol Immunol* 2000;15:313-316.

Burden DJ. The influence of social class, gender, and peers on the uptake of orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 1995;17:199-203.

Burt BA, Pai S. Sugar consumption and caries risk: a systematic review. *J Dent Educ* 2001;65:1017-1023.

Byun R, Nadkarni MA, Chhour KL, Martin FE, Jacques NA, Hunter N. Quantitative analysis of diverse Lactobacillus species present in advanced dental caries. *J Clin Microbiol* 2004;42:3128-3136.

Carlsson J, Grahnén H, Jonsson G. Lactobacilli and streptococci in the mouth of children. *Caries Res* 1975;9:333-339.

Caudry SD, Klitorinos A, Chan EC. Contaminated toothbrushes and their disinfection. *J Can Dent Assoc* 1995;61:511-516.

Caufield PW, Cutter GR, Dasanayake AP. Initial acquisition of mutans streptococci by infants: evidence for a discrete window of infectivity. *J Dent Res* 1993;72:37-45.

Chang HS, Walsh LJ, Freer TJ. The effect of orthodontic treatment on salivary flow, pH, buffer capacity, and levels of mutans streptococci and lactobacilli. *Aust Orthod J* 1999;15:229-234.

Chi AC, Neville BW, Krayner JW, Gonsalves WC. Oral manifestations of systemic disease. *Am Fam Physician* 2010;82:1381-1388.

Chun MJ, Shim E, Kho EH, Park KJ, Jung J, Kim JM, Kim B, Lee KH, Cho DL, Bai DH, Lee SI, Hwang HS, Ohk SH. Surface modification of orthodontic wires with photocatalytic titanium oxide for its antiadherent and antibacterial properties. *Angle Orthod* 2007;77:483-488.

Clerehugh V, Williams P, Shaw WC, Worthington HV, Warren P. A practice-based randomised controlled trial of the efficacy of an electric and a manual toothbrush on gingival health in patients with fixed orthodontic appliances. *J Dent* 1998;26:633-639.

Cobb CM. The tooth brush as a cause of repeated infections of the mouth. *Boston Med Surg J* 1920;183:263-264.

Dąbrowska E, Letko R, Balunowska M. Assessment of dentition status and oral hygiene in first year dental students, Medical University of Białystok. *Adv Med Sci* 2006;51:104-105.

Daly CG, Chapple CC, Cameron AC. Effect of toothbrush wear on plaque control. *J Clin Periodontol* 1996;23:45-49.

Danser MM, Timmerman MF, IJzerman Y, Bulthuis H, van der Velden U, van der Weijden GA. Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol* 1998;25:701-706.

Dayoub MB, Rusilko D, Gross A. Microbial contamination of toothbrushes. *J Dent Res* 1977;56:706.

Diamanti-Kipioti A, Gusberti FA, Lang NP. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances. *J Clin Periodontol* 1987;14:326-333.

Dörfer CE, von Bethlenfalvy ER, Kugel B, Pioch T. Cleaning efficacy of a manual toothbrush with tapered filaments. *Oral Health Prev Dent* 2003;1:111-118.

Dyer D, Addy M, Newcombe RG. Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol* 2000;27:99-103.

Efstratiou M, Papaioannou W, Nakou M, Ktenas E, Vrotsos IA, Panis V. Contamination of a toothbrush with antibacterial properties by oral microorganisms. *J Dent* 2007;35:331-337.

Emilson CG, Bratthall D. Growth of *Streptococcus mutans* on various selective media. *J Clin Microbiol* 1976;4:95-98.

Emilson CG, Thorselius I. Prevalence of *mutans streptococci* and *lactobacilli* in elderly Swedish individuals. *Scand J Dent Res* 1988;96:14-21.

Enaia M, Bock N, Ruf S. White-spot lesions during multibracket appliance treatment: A challenge for clinical excellence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:e17-e24.

Falck G, Kjellander J, Schwan A. Recurrence rate of streptococcal pharyngitis related to hygienic measures. *Scand J Prim Health Care* 1998;16:8-12.

Faltermeier A, Bürgers R, Rosentritt M. Bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* to esthetic bracket materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:S99-S103.

Fitzgerald RJ, Keyes PH. Demonstration of the etiologic role of streptococci in experimental caries in the hamster. *J Am Dent Assoc* 1960;61:9-19.

Franchi M, Checchi L. Temperature dependence of toothbrush bristle morphology. An ultrastructural study. *J Clin Periodontol* 1995;22:655-658.

Gibbons RJ. Adherent interactions which may affect microbial ecology in the mouth. *J Dent Res* 1984;63:378-385.

Glasl B, Ludwig B, Schopf P. Prevalence and development of KIG-relevant symptoms in primary school students from Frankfurt am Main. *J Orofac Orthop* 2006;67:414-423.

Glass RT, Lare MM. Toothbrush contamination: a potential health risk? *Quintessence Int* 1986;17:39-42.

Glass RT, Jensen HG. More on the contaminated toothbrush: the viral story. *Quintessence Int* 1988;19:713-716.

Glass RT, Shapiro S. Oral inflammatory diseases and the toothbrush. *J Okla Dent Assoc* 1992;83:28-32.

Glass RT. Toothbrush types and retention of microorganisms: how to choose a biologically sound toothbrush. *J Okla Dent Assoc* 1992;82:26-28.

Glass RT, Jensen HG. The effectiveness of a u-v toothbrush sanitizing device in reducing the number of bacteria, yeasts and viruses on toothbrushes. *J Okla Dent Assoc* 1994;84:24-28.

Goh HH. Interspace/interdental brushes for oral hygiene in orthodontic patients with fixed appliances (Review). *Cochrane Database Syst Rev* 2007. DOI:10.1002/14651858.CD005410.pub2.

Gold OG, Jordan HV, van Houte J. A selective medium for *Streptococcus mutans*. *Arch Oral Biol* 1973;18:1357-1364.

Golding PS. The development of the toothbrush. Part 1. A short history of tooth cleansing. *Dent Health* 1982(a);21:25-27.

Golding PS. The development of the toothbrush. Part 2. The modern toothbrush. *Dent Health* 1982(b);21:10-11,14-15.

Goldsmith RN, Shey Z, Houpt MI, Fine D, Schreiner H, Greenberg B. Toothbrush bristle wear and adherence of *Streptococcus mutans*. *Pediatr Dent* 2007;29:243-247.

Gomi K, Yashima A, Iino F, Kanazashi M, Nagano T, Shibukawa N, Ohshima T, Maeda N, Arai T. Drug concentration in inflamed periodontal tissues after systemically administered azithromycin. *J Periodontol* 2007;78:918-923.

Gülzow HJ. Die Mundhygiene mit der Zahnbürste. *Dtsch Zahnärztl Z* 1972;27:254-260.

Hägg U, Kaveewatcharanont P, Samaranayake YH, Samaranayake LP. The effect of fixed orthodontic appliances on the oral carriage of *Candida* species and *Enterobacteriaceae*. *Eur J Orthod* 2004;26:623-629.

Hagihara Y, Kaminishi H, Cho T, Tanaka M, Kaita H. Degradation of human dentine collagen by an enzyme produced by the yeast *Candida albicans*. *Arch Oral Biol* 1988;33:617-619.

Hamada S, Slade HD. Biology, immunology, and cariogenicity of *Streptococcus mutans*. *Microbiol Rev* 1980;44:331-384.

Hannig C, Sorg J, Spitzmüller B, Hannig M, Al-Ahmad A. Polyphenolic beverages reduce initial bacterial adherence to enamel in situ. *J Dent* 2009;37:560-566.

Hartlmaier KM. Zahn- und Mundbürsten. *Zahnärztl Mitt* 1954;44:592-596.

Hegde PP, Ashok KB, Ankola AV. Toothbrush age, wear, and plaque control. *Indian J Dent Res* 2005;16:61-64.

Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung*. 3. Auflage, Urban & Fischer, München 2003.

Hibino K, Wong RW, Hägg U, Samaranayake LP. The effects of orthodontic appliances on *Candida* in the human mouth. *Int J Paediatr Dent* 2009;19:301-308.

Hickman J, Millett DT, Sander L, Brown E, Love J. Powered vs manual tooth brushing in fixed appliance patients: a short term randomized clinical trial. *Angle Orthod* 2002;72:135-140.

Hildebrandt GH, Bretz WA. Comparison of culture media and chairside assays for enumerating mutans streptococci. *J Appl Microbiol* 2006;100:1339-1347.

Hossain H, Ansari F, Schulz-Weidner N, Wetzel WE, Chakraborty T, Domann E. Clonal identity of *Candida albicans* in the oral cavity and the gastrointestinal tract of pre-school children. *Oral Microbiol Immunol* 2003;18:302-308.

Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet* 1974;2:1127-1131.

ICH-GCP. European Medicines Agency. ICH Topic E6 (R1) Guideline for Good Clinical Practice. July 2002 CPMP/ICH/135/95.

Jokovic A, Locker D, Stephens M, Kenny S, Tompson B, Guyatt G. Validity and reliability of a questionnaire for measuring child oral-health-related quality of life. *J Dent Res* 2002;81:459-463.

Jordan C, LeBlanc DJ. Influences of orthodontic appliances on oral populations of mutans streptococci. *Oral Microbiol Immunol* 2002;17:65-71.

Jung M, Koçkapan C, Wetzel WE. Bristle end rounding of manual toothbrushes and reproducibility of end rounding classification. *Am J Dent* 2003;16:299-304.

Klinke T, Guggenheim B, Klimm W, Thurnheer T. Dental caries in rats associated with *Candida albicans*. *Caries Res* 2011;45:100-106.

Kneist S, Schmidt F, Callaway A, Willershausen B, Rupf S, Wicht M, Thiede B. Diversity of *Lactobacillus* species in deep carious lesions of primary molars. *Eur Arch Paediatr Dent* 2010;11:181-186.

Koch CA, Auschill TM, Arweiler NB. Wann sollte eine Zahnbürste ausgewechselt werden? *Oralprohylaxe Kinderzahnheilkd* 2007;29:150-158.

Köhler B, Andréen I, Jonsson B. The earlier the colonization by mutans streptococci, the higher the caries prevalence at 4 years of age. *Oral Microbiol Immunol* 1988;3:14-17.

Kossack C, Jost-Brinkmann PG. Plaque and gingivitis reduction in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances – comparison of toothbrushes and interdental cleaning aids. A 6-month clinical single-blind trial. *J Orofac Orthop* 2005;66:20-38.

Kozai K, Iwai T, Miura K. Residual contamination of toothbrushes by microorganisms. *ASDC J Dent Child* 1989;56:201-204.

Krasse B. The relationship between lactobacilli, *Candida* and streptococci and dental caries; examination of saliva and plaque material collected on the same occasion. *Odontol Revy* 1954;5:241-261.

Kreifeldt JG, Hill PH, Calisti LJ. A systematic study of the plaque removal efficiency of worn toothbrushes. *J Dent Res* 1980;59:2047-2055.

Krey KF, Hirsch C. Frequency of orthodontic treatment in German children and adolescents: influence of age, gender, and socio-economic status. *Eur J Orthod* 2011. DOI:10.1093/ejo/cjq155.

Kupietzky A, Majumdar AK, Shey Z, Binder R, Matheson PB. Colony forming unit levels of salivary Lactobacilli and Streptococcus mutans in orthodontic patients. *J Clin Pediatr Dent* 2005;30:51-53.

Lang NP, Cumming BR, Löe HA. Oral hygiene and gingival health in Danish dental students and faculty. *Community Dent Oral Epidemiol* 1977;5:237-242.

Lundström F, Krasse B. Streptococcus mutans and lactobacilli frequency in orthodontic patients; the effect of chlorhexidine treatments. *Eur J Orthod* 1987;9:109-116.

Madigan MT, Martinko JM, Dunlap PV, Clark DP. *Brock Biology of Microorganisms*. 12th international edition, Pearson Benjamin Cummings, San Francisco 2008.

Malmberg E, Birkhed D, Norvenius G, Norén JG, Dahlén G. Microorganisms on toothbrushes at day-care centers. *Acta Odontol Scand* 1994;52:93-98.

McClean M, Stanley T, Goldsmith CE, Millar BC, McClurg B, Elborn JS, Lowery CJ, Dooley JS, Rendall JC, Moore JE. Determination of optimum incubation time for release of bacteria from sputum of patients with cystic fibrosis using dithiothreitol (sputa-sol). *Br J Biomed Sci* 2010;67:89-91.

Mehta A, Sequeira PS, Bhat G. Bacterial contamination and decontamination of toothbrushes after use. *N Y State Dent J* 2007;73:20-22.

Müller PJ, Koçkapan C, Wetzel WE. Borstenverankerung und Borstenabrundung bei Erwachsenenzahnbürsten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992;102:38-46.

Naranjo AA, Triviño ML, Jaramillo A, Betancourth M, Botero JE. Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:275.e17-275.e22.

Neal PR, Rippin JW. The efficacy of a toothbrush disinfectant spray – an in vitro study. *J Dent* 2003;31:153-157.

Nelson-Filho P, Macari S, Faria G, Assed S, Ito IY. Microbial contamination of toothbrushes and their decontamination. *Pediatr Dent* 2000;22:381-384.

Nelson-Filho P, Isper AR, Assed S, Faria G, Ito IY. Effect of triclosan dentifrice on toothbrush contamination. *Pediatr Dent* 2004;26:11-16.

Nelson-Filho P, Faria G, da Silva RA, Rossi MA, Ito IY. Evaluation of the contamination and disinfection methods of toothbrushes used by 24- to 48-month-old children. *J Dent Child* 2006;73:152-158.

Netuschil L, Michou AM, Riethe P. Besteckungsmaterialien und Fremdauflagerungen: Vergleichende bakteriologische Untersuchungen. *Kariesprophylaxe* 1981;3:25-30.

Nies SM, Kröger T, Ansari F, Schaumburg C, Wetzel WE. Keimbesiedlung an Zahnbürsten mit unterschiedlichen Borstenbündelbesteckungen. *Oralprohylaxe Kinderzahnheilkd* 2008;30:54-60.

Noga K, Lange DE, Alai-Omid W. Mykologische Untersuchungen an Zahnbürsten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:396-398.

Owen OW. A study of bacterial counts (lactobacilli) in saliva related to orthodontic appliances. A preliminary report. *Am J Orthod* 1949;35:672-678.

Pancherz H, Mühlich DP. Entwicklung von Karies bei kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaturen – Ein Vergleich von Zähnen mit und ohne Kariesvorschädigungen. *Kieferorthop* 1997;11:139-144.

Papaioannou W, Gizani S, Nassika M, Kontou E, Nakou M. Adhesion of *Streptococcus mutans* to different types of brackets. *Angle Orthod* 2007;77:1090-1095.

Parvinen T, Larmas M. Age dependency of stimulated salivary flow rate, pH, and lactobacillus and yeast concentrations. *J Dent Res* 1982;61:1052-1055.

Percival RS, Challacombe SJ, Marsh PD. Age-related microbiological changes in the salivary and plaque microflora of healthy adults. *J Med Microbiol* 1991;35:5-11.

Peros K, Mestrovic S, Anic-Milosevic S, Slaj M. Salivary microbial and nonmicrobial parameters in children with fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2011;81:901-906.

Petti S, Barbato E, Simonetti D'Arca A. Effect of orthodontic therapy with fixed and removable appliances on oral microbiota: a six-month longitudinal study. *New Microbiol* 1997;20:55-62.

Pye A, Stockley RA, Hill SL. Simple method for quantifying viable bacterial numbers in sputum. *J Clin Pathol* 1995;48:719-724.

Quirynen M, De Soete M, Pauwels M, Goossens K, Teughels W, van Eldere J, van Steenberghe D. Bacterial survival rate on tooth- and interdental brushes in relation to the use of toothpaste. *J Clin Periodontol* 2001;28:1106-1114.

Quirynen M, De Soete M, Pauwels M, Gizani S, van Meerbeek B, van Steenberghe D. Can toothpaste or a toothbrush with antibacterial tufts prevent toothbrush contamination? *J Periodontol* 2003;74:312-322.

Reiter C, Wetzel WE. Bearbeitung der Borstenenden bei Interdentälbürsten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1991;101:431-437.

Ren YF, Cacciato R, Whelehan MT, Ning L, Malmstrom HS. Effects of toothbrushes with tapered and cross angled soft bristle design on dental plaque and gingival inflammation: a randomized and controlled clinical trial. *J Dent* 2007;35:614-622.

Riley AW. Evidence that school-age children can self-report on their health. *Ambul Pediatr* 2004;4:371-376.

Ristic M, Vlahovic Svabic M, Sasic M, Zelic O. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances on periodontal tissues in adolescents. *Orthod Craniofac Res* 2007;10:187-195.

Rogosa M, Mitchell JA, Wiseman RF. A selective medium for the isolation and enumeration of oral lactobacilli. *J Dent Res* 1951;30:682-689.

Rosenbloom RG, Tinanoff N. Salivary *Streptococcus mutans* levels in patients before, during, and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:35-37.

Sakellari D, Goodson JM, Socransky SS, Kolokotronis A, Konstantinidis A. Concentration of 3 tetracyclines in plasma, gingival crevice fluid and saliva. *J Clin Periodontol* 2000;27:53-60.

Sander FM, Sander C, Sander FG. Dental care with manual toothbrushes during fixed orthodontic treatment – a new testing procedure. *J Orofac Orthop* 2005;66:299-306.

Sari E, Birinci I. Microbiological evaluation of 0.2% chlorhexidine gluconate mouth rinse in orthodontic patients. *Angle Orthod* 2007;77:881-884.

Saxer UP, Nittner T, Toutenburg H. Akzeptanz der meridol®-Zahnbürste bei Dentalhygienikerinnen. Eine Fragebogenstudie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2007;117:1050-1058.

Schaeken MJ, van der Hoeven JS, Franken HC. Comparative recovery of *Streptococcus mutans* on five isolation media, including a new simple selective medium. *J Dent Res* 1986;65:906-908.

Schätzle M, Imfeld T, Sener B, Schmidlin PR. In vitro tooth cleaning efficacy of manual toothbrushes around brackets. *Eur J Orthod* 2009;31:103-107.

Scott J, Huskisson EC. Vertical or horizontal visual analogue scales. *Ann Rheum Dis* 1979;38:560.

Seymour RA, Simpson JM, Charlton JE, Phillips ME. An evaluation of length and endphrase of visual analogue scales in dental pain. *Pain* 1985;21:177-185.

Sgan-Cohen HD, Vered Y. A clinical trial of the meridol® toothbrush with conical filaments: evaluation of clinical effectiveness and subjective satisfaction. *J Clin Dent* 2005;16:109-113.

Ship JA. Diabetes and oral health: an overview. *J Am Dent Assoc* 2003;134:4S-10S.

Silverstone LM, Featherstone MJ. Examination of the end rounding pattern of toothbrush bristles using scanning electron microscopy: a comparison of eight toothbrush types. *Gerodontics* 1988;4:45-62.

Slot DE, Dörfer CE, van der Weijden GA. The efficacy of interdental brushes on plaque and parameters of periodontal inflammation: a systematic review. *Int J Dent Hyg* 2008;6:253-264.

Spolidorio DM, Goto E, Negrini Tde C, Spolidorio LC. Viability of *Streptococcus mutans* on transparent and opaque toothbrushes. *J Dent Hyg* 2003;77:114-117.

Statistisches Bundesamt. Studierende an Hochschulen. Fachserie 11 Reihe 4.1 – Wintersemester 2010/2011. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/>.

Sukontapattipark W, El-Agroudi MA, Selliseth NJ, Thunold K, Selvig KA. Bacterial colonization associated with fixed orthodontic appliances. A scanning electron microscopy study. *Eur J Orthod* 2001;23:475-484.

Svanberg M. Contamination of toothpaste and toothbrush by *Streptococcus mutans*. *Scand J Dent Res* 1978;86:412-414.

Taji SS, Rogers AH. ADRF Trebitsch Scholarship. The microbial contamination of toothbrushes. A pilot study. *Aust Dent J* 1998;43:128-130.

Thienpont V, Dermaut LR, van Maele G. Comparative study of 2 electric and 2 manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:353-360.

Trimpeeneers LM, Wijgaerts IA, Grogard NA, Dermaut LR, Adriaens PA. Effect of electric toothbrushes versus manual toothbrushes on removal of plaque and periodontal status during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:492-497.

Turner LA, McCombs GB, Hynes WL, Tolle SL. A novel approach to controlling bacterial contamination on toothbrushes: chlorhexidine coating. *Int J Dent Hyg* 2009;7:241-245.

van Houte J. Role of micro-organisms in caries etiology. *J Dent Res* 1994;73:672-681.

van Loveren C, Hoogenkamp MA, Deng DM, ten Cate JM. Effects of different kinds of fluorides on enolase and ATPase activity of a fluoride-sensitive and fluoride-resistant *Streptococcus mutans* strain. *Caries Res* 2008;42:429-434.

Verran J, Leahy-Gilmartin AA. Investigations into the microbial contamination of toothbrushes. *Microbios* 1996;85:231-238.

Versteeg PA, Piscaer M, Rosema NA, Timmerman MF, van der Velden U, van der Weijden GA. Tapered toothbrush filaments in relation to gingival abrasion, removal of plaque and treatment of gingivitis. *Int J Dent Hyg* 2008;6:174-182.

Wandelt S. Hefen in der menschlichen Mundhöhle und ihre Bedeutung für die Ätiologie der Karies. *Dtsch Zahnärztl Z* 1969;24:486-528.

Warren DP, Goldschmidt MC, Thompson MB, Adler-Storthz K, Keene HJ. The effects of toothpastes on the residual microbial contamination of toothbrushes. *J Am Dent Assoc* 2001;132:1241-1245.

Wetzel WE, Hanisch S, Sziegoleit A. Keimbesiedlung der Mundhöhle bei Kleinkindern mit Nursing-Bottle-Syndrom. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1993;103:1107-1112.

Wetzel WE, Böhmer C, Sziegoleit A. In-vitro-Karies durch *Candida albicans*. *Acta Med Dent Helv* 1997;2:308-313.

Wetzel WE, Schaumburg C, Ansari F, Kröger T, Sziegoleit A. Microbial contamination of toothbrushes with different principles of filament anchoring. *J Am Dent Assoc* 2005;136:758-765.

Wheeler TT, McGorray SP, Yurkiewicz L, Keeling SD, King GJ. Orthodontic treatment demand and need in third and fourth grade schoolchildren. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:22-33.

Wiegand A, Schwerzmann M, Sener B, Magalhães AC, Roos M, Ziebolz D, Imfeld T, Attin T. Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel – an in vitro study. *Acta Odontol Scand* 2008;66:231-235.

Wilcoxon DB, Ackerman RJ Jr, Killoy WJ, Love JW, Sakumura JS, Tira DE. The effectiveness of a counterrotational-action power toothbrush on plaque control in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:7-14.

Yankell SL, Shi X, Emling RC. Laboratory evaluations of two toothbrushes for removal of artificial plaque above, around and below the gingival margin. *J Clin Dent* 2003;14:19-22.

9 Herstellerverzeichnis

Bio-Rad Laboratories GmbH
Heidemannstrasse 164
80939 München

GABA GmbH
Postfach 2520
79515 Lörrach

Ivoclar Vivadent GmbH
Dr. Adolf-Schneider-Str. 2
73479 Ellwangen, Jagst

JEOL GmbH
Oskar-von-Miller-Str. 1A
85386 Eching b. München

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt

Neubauer Chemikalien
Daniel-Fahrenheit-Str. 12
48291 Telgte

Oxoid Limited
Wade Road
Basingstoke
Hampshire
RG24 8PW
United Kingdom

Philips Research
High Tech Campus 5
5656 AE Eindhoven
The Netherlands

SAS Institute Inc.
100 SAS Campus Drive
Cary, NC 27513-2414
USA

10 Anhang

A Aufklärungsbogen mit Einwilligungserklärung

Zahnbürstenstudie

Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung

Vollständige Bezeichnung der klinischen Studie:

***Mikrobielle Besiedlung verschiedener Handzahnbürsten
während Multibracketbehandlung***

Verantwortlicher Träger und Leiter der klinischen Studie:

Prof. Dr. Sabine Ruf

Patient/in (Name, Vorname):

....., geb. am..... Teilnehmer-Nr.

Liebe Patientin, lieber Patient, sehr geehrte Eltern,

Dein/Ihr behandelnder Arzt schlägt vor, Dich/Ihre Tochter bzw. Ihren Sohn in die oben genannte Studie einzubeziehen.

Eine solche Teilnahme ist freiwillig. Du wirst in diese Studie nur dann aufgenommen, wenn Du Deine Einwilligung erklärst bzw. Sie Ihre Einwilligung zur Teilnahme Ihrer Tochter/Ihres Sohnes erklären.

Um Dich/Sie über das Vorhaben und die etwaigen Vorteile und Risiken der Teilnahme zu informieren, wird der verantwortliche Arzt ein Gespräch mit Dir/Ihnen führen. Zusätzlich **möchten wir Dich/Sie bitten, die nachfolgenden Ausführungen zu lesen.** Du kannst Dir/Sie können sich dadurch bereits einen Überblick verschaffen.

A. Die klinische Studie

1. Worum geht es?

Im Rahmen der klinischen Studie ist geplant, die Haftung von Karies fördernden Bakterien, die in der Mundhöhle vorkommen, an zwei Zahnbürsten mit verschiedenen Borstenarten zu untersuchen.

Von der Durchführung der klinischen Studie erhoffen wir uns, eine Aussage treffen zu können, welche Art der Zahnbürste für Patienten mit Multibracketapparatur bezüglich der hygienischen Eigenschaften am besten geeignet ist.

2. Welche Vorteile sind zu erwarten?

Eine optimale Mundhygiene u.a. durch regelmäßiges Zähneputzen ist vor allem bei Trägern einer festsitzenden Zahnsperre wichtig. Durch die Entfernung bakterienhaltiger Plaque wird die Gefahr von Schmelzentkalkungen, Karies oder Zahnfleischentzündungen erheblich reduziert. Die vorliegende Studie soll klären, welches Borstendesign einer Zahnbürste dieses Ziel am besten erreichbar macht.

Für die Dauer der Studie bekommst Du/bekommt Ihre Tochter bzw. Ihr Sohn die entsprechende Zahnbürste und Zahnpasta von der Poliklinik für Kieferorthopädie zur Verfügung gestellt.

3. Welche Risiken und Belastungen sind zu erwarten?

Es ist nicht auszuschließen, dass eine Art der Handzahnbürste eine höhere Bakterienretention aufweist. Für Dich/Ihre Tochter bzw. Ihren Sohn wird dies keine Relevanz haben, da beide Zahnbürsten seit längerer Zeit auf dem Markt erhältlich sind und von deren sachgemäßer Verwendung keinerlei Risiken ausgehen.

B. Woran ist noch zu denken?

1. Die persönlichen Daten werden geschützt!

Die Durchführung der Studie erfordert es, dass personenbezogene Daten, insbesondere Angaben über die Gesundheit, erhoben, aufgezeichnet und verarbeitet werden. Die erhobenen Daten werden für die **wissenschaftliche Auswertung** der Studie verwendet, für die **Überwachung** der Studie durch die zuständigen Überwachungsbehörden sowie für die **Archivierung** der Studienergebnisse. Die Verwendung der Daten kann darüber hinaus auch für eine **Veröffentlichung** der Forschungsergebnisse (beispielsweise in medizinischen Fachzeitschriften) erforderlich sein.

Die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Speicherung der Daten unterliegt strengen **spezialgesetzlichen Bestimmungen**, die restriktiv eingehalten werden. Dementsprechend erfolgt eine Weitergabe und Einsichtnahme der personenbezogenen Daten nur durch die zuständigen Überwachungsbehörden und durch zur Verschwiegenheit verpflichtete Mitarbeiter der Einrichtung, die die Durchführung der Studie finanziell fördert. Im Übrigen unterliegen sämtliche Daten den allgemeinen Bestimmungen des **hessischen Datenschutzgesetzes**. Insbesondere eine Veröffentlichung der Daten in wissenschaftlichen Publikationen erfolgt nur, wenn zuvor jeder Bezug zu der Person unkenntlich gemacht worden ist, entweder durch **Anonymisierung** oder durch Verwendung eines anderen Namens, also eines **Pseudonyms**.

Ansprechpartner für die Verwaltung der Daten ist:

Johanna Eichenauer, Poliklinik für Kieferorthopädie, Schlangenzahl 14, 35392 Gießen
Tel.: 0641-9946122, eMail: Johanna.Eichenauer@dentist.med.uni-giessen.de

2. Es besteht Versicherungsschutz.

Für das Vorhaben besteht im Rahmen der Produkthaftung, die das deutsche Gesetz vorschreibt, Versicherungsschutz, welcher im Interesse der Teilnehmer etwaige Schäden abdeckt. Zu beachten ist, dass **bei Auftreten einer Gesundheitsschädigung**, wenn sie Folge der Studie/Prüfung sein könnte, dieser Schaden dem Behandler unverzüglich anzuzeigen ist.

3. Du kannst/Sie können die Teilnahme jederzeit beenden.

Wenn Du/Sie aus der Studie Prüfung ausscheiden möchtest/n, kann die Einwilligung jederzeit und **ohne Angabe von Gründen** widerrufen werden. Durch den Widerruf entstehen **keinerlei Nachteile**.

Zum Zeitpunkt des Widerrufs bereits erhobene **personenbezogene Daten** werden vom Widerruf jedoch nur dann erfasst, wenn deren weitere Verwendung nicht erforderlich ist. Häufig ist eine solche **weitere Verwendung** der bereits erhobenen Daten jedoch erforderlich, um die **wissenschaftliche Auswertung** der Studie/klinischen Prüfung nicht zu gefährden oder um im Fall einer **Arzneimittelzulassung** der zuständigen Behörde vollständige Zulassungsunterlagen vorlegen zu können.

Wir werden daher im Fall eines Widerrufs **unverzüglich prüfen**, ob die Daten aus den genannten Gründen weiter benötigt werden. Sollte dies nicht der Fall sein, werden die Daten je nach den technischen Gegebenheiten umgehend gesperrt, gelöscht oder vernichtet. Anderenfalls werden die Daten erst mit Wegfall der genannten längerfristigen Verwendungszwecke gelöscht, unabhängig hiervon jedoch spätestens mit Ablauf der vorgeschriebenen Aufbewahrungsfrist.

C. Einwilligungserklärung

Ich habe mir anhand des ausgehändigten Aufklärungsbogens einen Überblick über die klinische Studie verschafft.

Anschließend hat Dr./ZÄ/ZA am um Uhr ein ausführliches Gespräch mit mir geführt. Gegenstand des Gesprächs war insbesondere

- der nähere Inhalt und der praktische Ablauf der Studie/klinischen Prüfung, vor allem die genaue Anweisung über Anwendung der Zahnbürsten, die Wichtigkeit des Einhaltens der vereinbarten Zahnputzrichtlinien, sowie die Notwendigkeit des ehrlichen Ausfüllens der Fragebögen;
- die Frage, inwieweit Vorteile, Risiken oder Belastungen zu erwarten sind;
- Fragen des Daten- und Versicherungsschutzes sowie der Hinweis auf mein jederzeitiges Widerrufsrecht.

Ich hatte Gelegenheit, Fragen zu stellen, und habe eine Kopie der vorliegenden Unterlagen erhalten. Anschließend wurde mir ausreichend Zeit gewährt, um in Ruhe über meine Teilnahme nachzudenken. Derzeit habe ich keine weiteren Fragen.

Mit der Teilnahme an der klinischen Studie/Prüfung bin ich einverstanden.

Meine Einwilligung umfasst auch die beschriebene Verwendung meiner personenbezogenen Daten, insbesondere die Erhebung und Verarbeitung von Angaben über meine Gesundheit.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Name, Vorname - in Druckschrift)

.....
(Unterschrift)

.....
(Name, Vorname - in Druckschrift)

.....
(Unterschrift des Erziehungsberechtigten)

Vielen Dank für Deine/Ihre Hilfe! Selbstverständlich werden wir Dich/Sie umgehend informieren, falls im Verlauf der Studie Informationen bekannt werden, die Deine/Ihre Bereitschaft zur weiteren Mitwirkung beeinflussen könnten.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift Leiter / Stellvertreter)


B Informationsblatt

Patienteninformation – Zahnbürstenstudie

Liebe(r) Patient(in),
wir freuen uns sehr, dass Du an der Zahnbürstenstudie teilnehmen möchtest!
Damit hilfst Du uns herauszufinden, welche Zahnbürstenart man während der Behandlung mit einer festen Zahnsperre am besten verwenden soll.

Wie bereits mit Dir besprochen, sollst Du *eine Zahnbürste* verwenden, mit der Du genau zwei Wochen putzt. Danach gibst Du diese Zahnbürste wieder bei uns ab.
Am Ende der Studie werden wir Dich bitten, einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

Was musst Du beachten?

- ☐ Bitte putze Deine Zähne *zweimal täglich* (morgens nach dem Frühstück und abends vor dem Schlafengehen) jeweils 3 Minuten ausschließlich mit der Bürste, die du von uns bekommen hast.
- ☐ Das erste Mal putzt Du am _____ abends, zum letzten Mal am _____ morgens.
- ☐ Spüle den Bürstenkopf - wie gewohnt - nach dem Putzen gründlich für etwa 5 Sekunden mit klarem Wasser aus.
- ☐ Lagere die Zahnbürste zwischen dem Zähneputzen bitte *aufrecht mit dem Bürstenkopf nach oben*, so dass dieser die Möglichkeit zum Trocknen hat (bitte auch keine Zahnbürstenschutzkappen oder ähnliches auf den Bürstenkopf stecken!).
- ☐ Falls Du zusätzlich Interdentalbürsten oder Zahnseide nutzt, darfst Du das selbstverständlich auch weiterhin tun.
- ☐ Bitte benutze während der Studie *ausschließlich die elmex® Zahnpasta*, die Du von uns bekommen hast. Bei jedem Putzen solltest Du ein etwa 1 cm langes Stück davon verwenden. Das ist ungefähr so viel: .
- ☐ Achte darauf, dass Du alle erreichbaren Flächen Deiner Zähne und ganz besonders die Stellen um und zwischen den Brackets gründlich reinigst.
- ☐ Verwende bitte *keinerlei Mundspüllösungen!*
- ☐ Bitte gebe die Zahnbürste nach dem letzten Putzen im ausgehändigten sauberen und verschlossenen Kunststoffbeutel an uns zurück.

Sollten weitere Fragen oder Probleme auftreten, melde Dich bitte bei der Abteilung für Kieferorthopädie oder direkt bei Johanna Eichenauer:
Tel.: 0641-9946122, eMail: Johanna.Eichenauer@dentist.med.uni-giessen.de



Vielen Dank für Deine Mitarbeit und viel Spaß beim Putzen!

Dein Team der Kieferorthopädie

C Fragebogen

Fragebogen - Zahnbürstenstudie

Teilnehmer Nr.

Liebe(r) Teilnehmer(in),
nachdem Du jetzt zwei Wochen mit der Zahnbürste geputzt hast, bitten
wir Dich zum Abschluss der Studie die folgenden Fragen zu beantworten:

- Hast Du während der vergangenen zwei Wochen auch eine andere Zahnbürste/Zahnpasta als die von uns ausgehändigte verwendet?
ja ☐ nein ☐
- Warst Du während der vergangenen zwei Wochen krank?
ja ☐ nein ☐
- Hast Du während der vergangenen zwei Wochen Medikamente eingenommen?
ja ☐ nein ☐

Wenn ja, welche Medikamente waren das?

.....

- Hat die Zahnbürste während dem Putzen Schmerzen verursacht?

(Bitte kreuze einen Punkt auf der Linie an, der Deinen Empfindungen entspricht!)

Solltest Du nur sehr leichte Schmerzen verspürt haben, könnte das beispielsweise so aussehen:

gar nicht — **X** — stark)

gar nicht — stark

- Hat die Zahnbürste während dem Putzen Zahnfleischbluten verursacht?

gar nicht — stark

- Wie gründlich hat die Zahnbürste Deiner Meinung nach Deine Zähne gereinigt?

sehr gut — sehr schlecht

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

11 Publikationen

Folgendes Poster wurde im Rahmen der 83. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO) während des Deutschen Zahnärztetages in Frankfurt am Main vom 11.-13.11.2010 präsentiert:



Kontakt: Johanna.Eichenauer@dentist.med.uni-giessen.de

Folgender Abstract wurde im Rahmen der 111th Annual Session der American Association of Orthodontists in Chicago vom 13.-17.05.2011 als E-Poster präsentiert:

**Microbial contamination of manual toothbrushes
during treatment with fixed appliances**

Johanna Eichenauer, J von Bremen, S Ruf

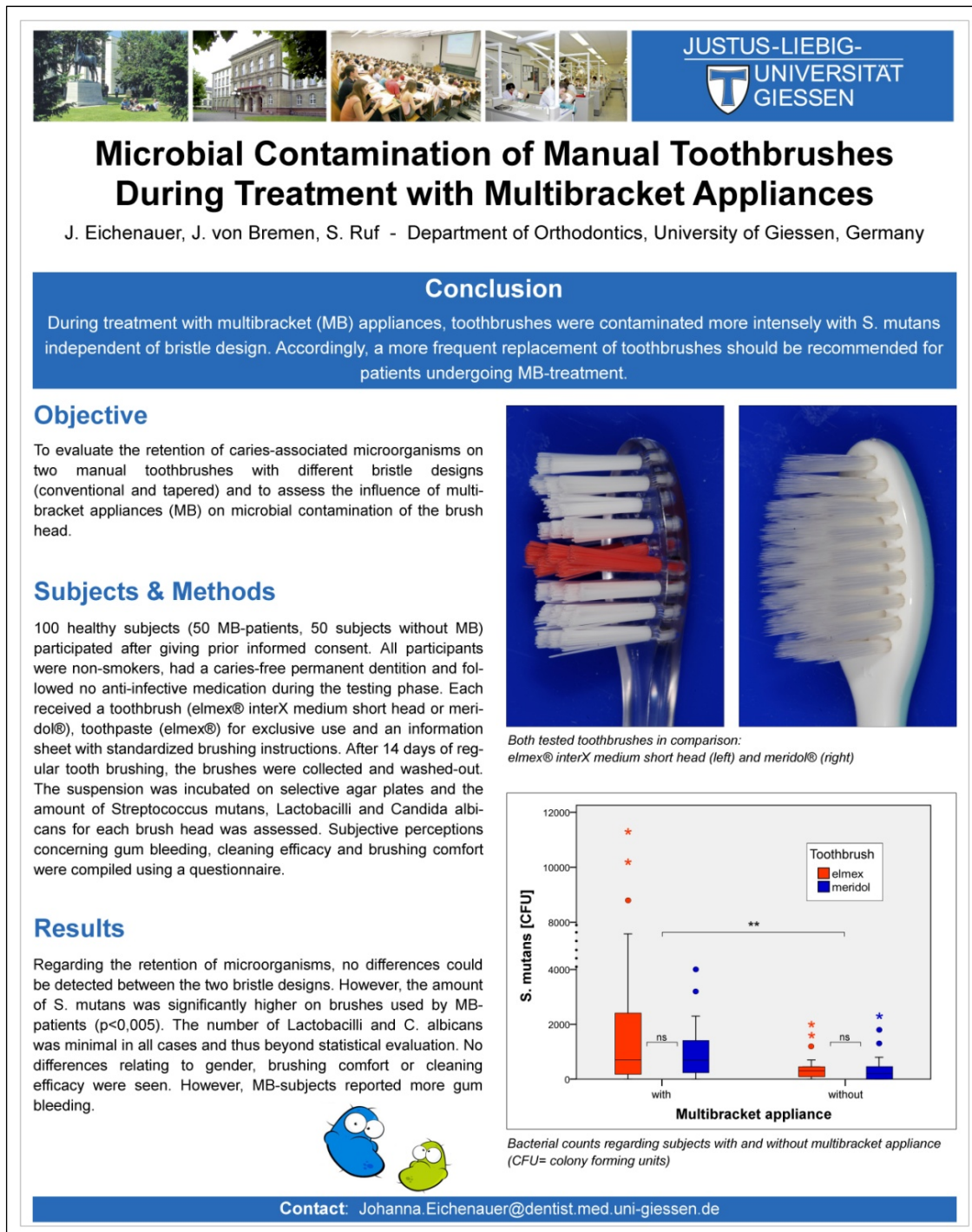
Objective: 1) To evaluate the retention of caries-associated microorganisms on two manual toothbrushes with different bristle designs (conventional and tapered) and 2) to assess the influence of multibracket appliances (MB).

Subjects & Methods: 100 healthy subjects (50 with MB, 50 without MB). Each received a toothbrush (elmex® interX medium short head or meridol®), toothpaste (elmex®) and standardized brushing instructions. After 14 days the amount of *Streptococcus mutans*, lactobacilli and *Candida albicans* was assessed.

Results: Regarding the retention of microorganisms, no difference could be found between the two bristle designs. However, the amount of *S. mutans* was significantly higher on brushes used by MB-patients ($p < 0,005$). The number of lactobacilli and *C. albicans* was minimal and thus beyond statistical evaluation.

Conclusion: A more frequent replacement of toothbrushes may be advisable for patients undergoing treatment with fixed appliances.

Folgendes Poster wurde im Rahmen des 87th Congress of the European Orthodontic Society in Istanbul vom 19.-22.06.2011 präsentiert:



12 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Johanna Eichenauer

13 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Sabine Ruf für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas sowie viele konstruktive Anregungen während der Entstehung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich Dr. Julia von Bremen herzlich für die hervorragende Betreuung und ihr motivierendes Engagement danken.

Frau Ingrid Heidmann danke ich für die nette Unterstützung sowohl bei der mikrobiologischen Auswertung der Proben als auch bei Anfertigung der REM-Aufnahmen, bei welchen mir Dr. Nadine Schlüter ebenfalls sehr hilfreich zur Seite stand.

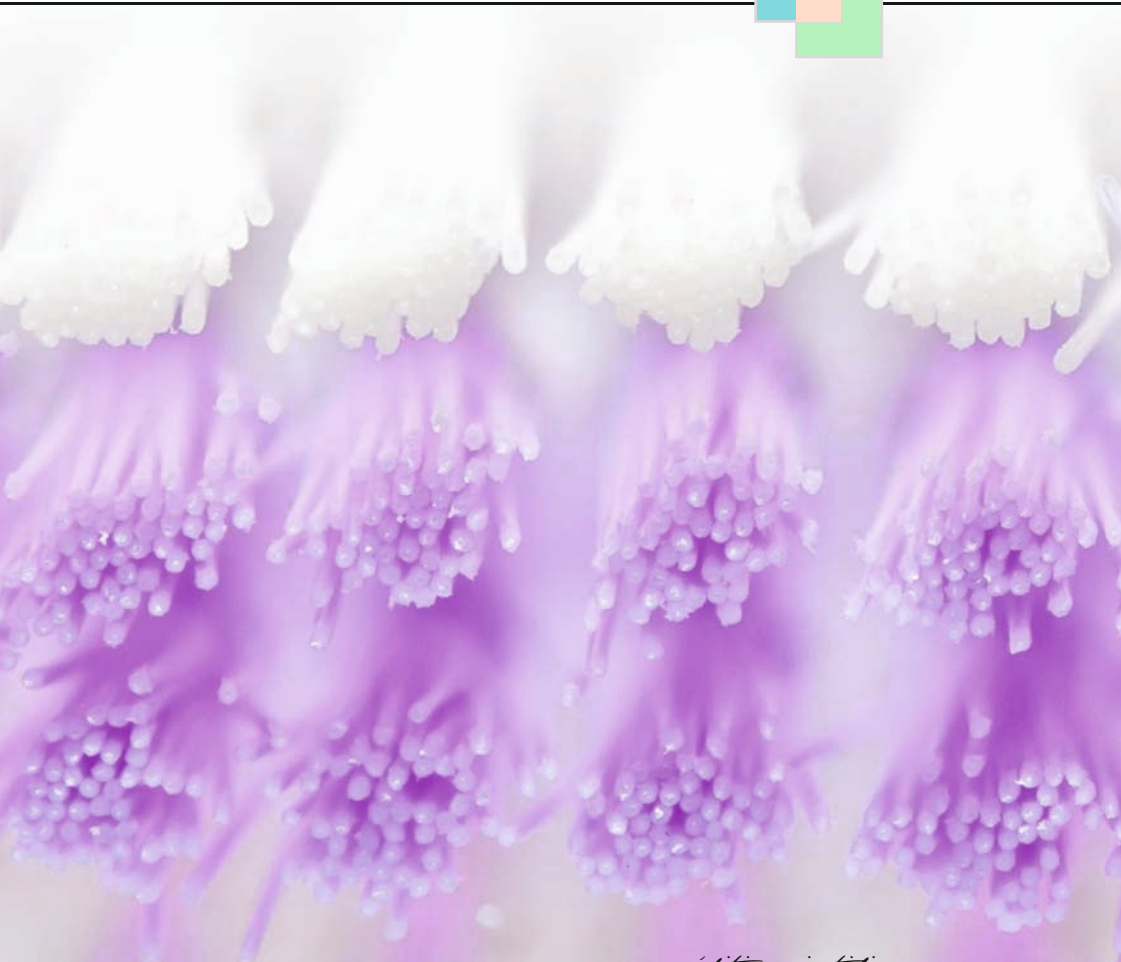
Für sein professionelles Mitwirken beim Erstellen der Fotos und Grafiken möchte ich Herrn Hartmut Meyer meinen Dank aussprechen.

Herrn Dr. Bödeker und Frau Scheibelhut vom Institut für Medizinische Informatik danke ich sehr für ihren Beitrag zu den statistischen Grundlagen.

Schließlich danke ich meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht und mich jederzeit auf vielfältige Art und Weise unterstützt haben.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the
electronic version of the paper.**



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5957-6



9 783835 195957 6

Cover photo: © Ian Grainger - IStockphoto.com